



Российская Академия Наук

**НАУЧНЫЕ СЕССИИ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК**

2002–2009

НАУКА



Российская Академия Наук

НАУЧНЫЕ СЕССИИ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

2002–2009

Под редакцией
академика В.В. КОСТЮКА



МОСКВА НАУКА 2010

УДК 001
ББК 73
НЗ4

Составители:

член-корреспондент РАН В.И. ВАСИЛЬЕВ
(ответственный составитель),
член-корреспондент РАН А.А. ТОЛСТИКОВ,
В.Ю. АФИАНИ

ISBN 978-5-02-037593-2

© Российская академия наук, 2010

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РАН**

**“Наноструктуры и нанотехнологии”.
“Экономика знаний:
уроки для России”**

19 декабря 2002 года

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБНЫЕ СТРУКТУРЫ – НОВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЭМИССИОННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Академик Ю.В. Гуляев

В течение последних 15 лет очень бурно развивается новое направление в электронике – вакуумная микроэлектроника. Это направление ведет, во-первых, к разработке новых электронных пушек для известных СВЧ-приборов (клистронов, магнетронов, ЛЕВ, ЛОВ и др.) и к созданию принципиально новых СВЧ-приборов. Во-вторых, вакуумная микроэлектроника дает возможность конструировать новые эффективные дисплеи и плоские экраны. В-третьих, здесь возможно создание новых типов специальных процессоров для обработки информации. Чрезвычайно важной отличительной особенностью перечисленных выше приборов является то, что они могут работать при повышенных температурах (до $\sim 1000^\circ\text{C}$, например, на поверхности планеты Венера), в условиях интенсивной радиации и сильного электромагнитного излучения.

Основная используемая структура представляет собой решетку острижных (или лезвийных) холодных автокатодов, формирующую матрицу диодных или триодных электронно-оптических микроструктур. В качестве эмиттеров используются кремниевые или молибденовые атомарно заостренные конусы или лезвия, изготовлением которых занимается современная фотолитография и другие прецизионные технологии.

В настоящее время для большинства случаев практического применения необходимо увеличение тока с одной микроструктуры на один-два порядка и уменьшение не менее чем на порядок напряжения на управляющем электроде. В связи с этим идет активный поиск новых эмиссионных материалов и конструкций.

В докладе мы представляем новый материал для эмиссионной электроники, который изучается вот уже девять лет, – углеродные нанотрубные и нанокластерные пленки.

После открытия в 1985 г. У. Крото, Р. Смолли и Р. Керлом новой аллотропной фазы углерода – гипермолекулы C_{60} , названной фуллереном, – изучение данного материала стало одним из самых популярных направлений исследований в физике и химии твердого тела. Были обнаружены и изучены

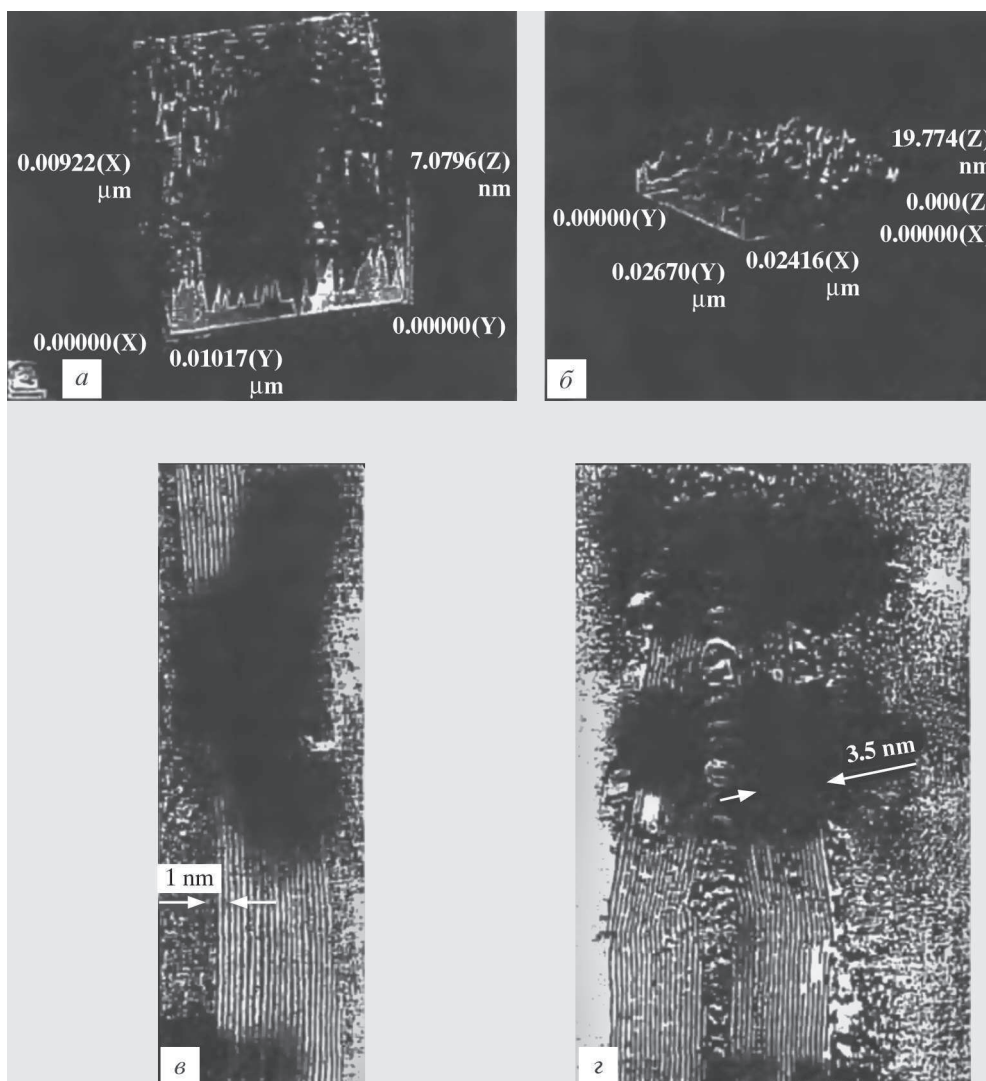


Рис. 1. Изображение тубеленов типа А (слева) и типа Б (справа)
а, б – в СТМ; *в, г* – в электронном микроскопе

другие стабильные гипермолекулы углерода такого типа – C_{70} , C_{76} , C_{84} , C_{96} . Все они имеют сферическую форму и состоят из шестиугольных и пятиугольных ячеек и имеют диаметр ~ 1 нм.

В 1991 г. было доказано, что под действием внешних сил сферическая молекула C_{60} может приобрести бочкообразную форму [1]. Далее он показал, что возможно состояние гипермолекулы углерода в виде нанотрубки, закрытой на концах “шапочками” из половинок гипермолекулы C_{60} [2]. Приведенный вариант углеродных гипермолекул он назвал “тубеленами” (от английского tube – трубка). В этой же статье было помещено изображение в электронном микроскопе нанотрубной углеродной структуры, полученной

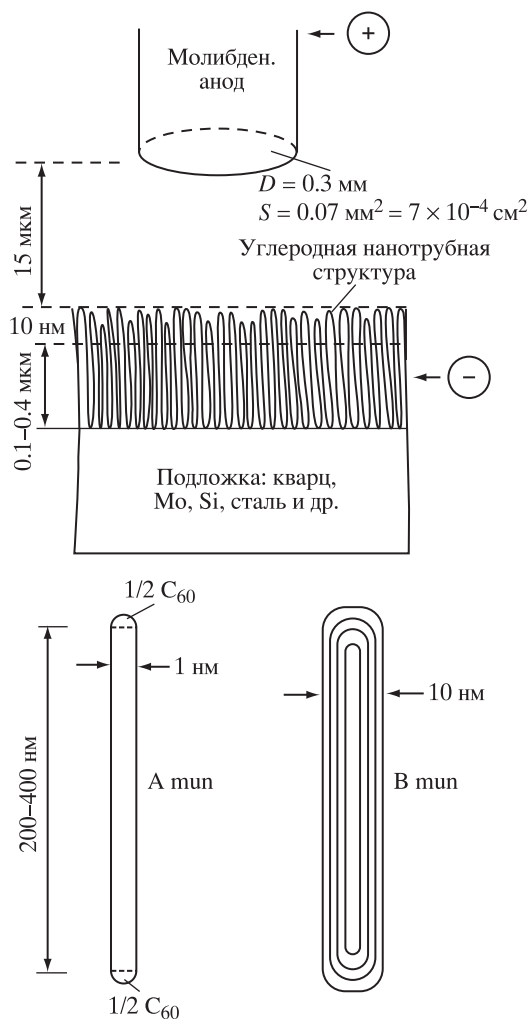


Рис. 2. Полевая эмиссия электронов из углеродных нанотрубок (тубеленов)

экспериментально методом распыления графита электронным лучом. Структура представляла собой пленку толщиной около 1 нм (примерно 10 Е) и длиной – порядка 100 нм во всю толщину пленки. Более подробно данная экспериментальная работа с некоторыми теоретическими дополнениями была описана в 1992 г. [3].

Независимо от перечисленных выше работ, в 1991 г. японский специалист в области электронной микроскопии С. Инджима, изучая материал, высаживающийся на катоде при получении фуллеренов методом электродугового разряда, обнаружил там многослойные нанотрубки [4]. С тех пор углеродные нанотрубки интенсивно изучаются во всем мире [5].

Как видно из типичных картинок, полученных на сканирующем туннельном микроскопе (рис. 1), углеродные нанотрубки (тубелены) как однослойные (А-типа), так и многослойные (В-типа), имеют разную длину (разница составляет ~10 нм и более), и как правило,

оказываются “обломанными”, то есть не имеют “шапочек” C_{60} . Таким образом, поверхность тубеленовой пленки представляет собой плоскость, усеянную остриями нанометрового диаметра, причем плотность упаковки острий может достигать 10^{12} – 10^{14} штук на 1 см^2 . При приложении электрического поля эти острия могут стать источниками автоэлектронной эмиссии. Это навело меня и моих коллег на мысль об использовании таких пленок в качестве эмиттеров электронов в вакуум. Идея была высказана и реализована нами в 1993 г. и первые результаты опубликованы в начале 1994 г. [5] и представлены на VII Международную конференцию по вакуумной микроэлектронике, состоявшуюся в июле 1994 г. в Гренобле. Схема эксперимента приведена на рис. 2.

На рис. 3 даны типичные вольт-амперные характеристики для пленок из тубеленов типа А и В. Видно, что эмиссионная способность тубеленных пленок, состоящих из углеродных нанотрубок, весьма высока. Плотность автоэмиссионного тока имеющихся в настоящее время углеродных

Рис. 3. Вольт-амперные характеристики автоэлектронной эмиссии из тубеленовых пленок

нанотрубных пленок достигает 10 A/cm^2 при средней напряженности поля вблизи поверхности пленки порядка $30\text{--}50 \text{ В/мкм}$ [5]. На рис. 3б эти же вольт-амперные характеристики построены в соответствии с формулой Фаулера–Нордгейма для тока автоэлектронной эмиссии. Там же приведены известные из литературы данные для кремниевых острий и алмазоподобных пленок (например [6]). Малый наклон линий доказывает, что работа выхода из углеродных нанотрубных пленок существенно ниже, чем из кремниевых острий и алмазоподобных пленок. Эта работа составляет порядка 1 эВ (в отличие от 4.37 эВ для обычного углерода).

На рис. 4 показаны вольт-амперные характеристики автоэлектронной эмиссии из углеродных нанотрубных пленок, выращенных CVD-методом. Видно, что эмиссия может начинаться при сравнительно низких напряжениях.

Нанокластерные углеродные пленки, полученные CVD-методом при распылении графита в аргонной плазме, дают автоэмиссионные характеристики на-

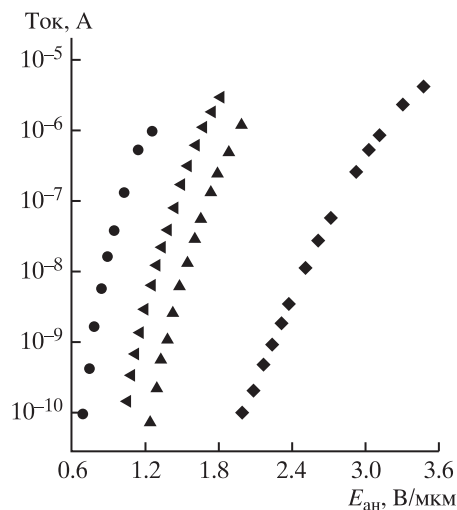
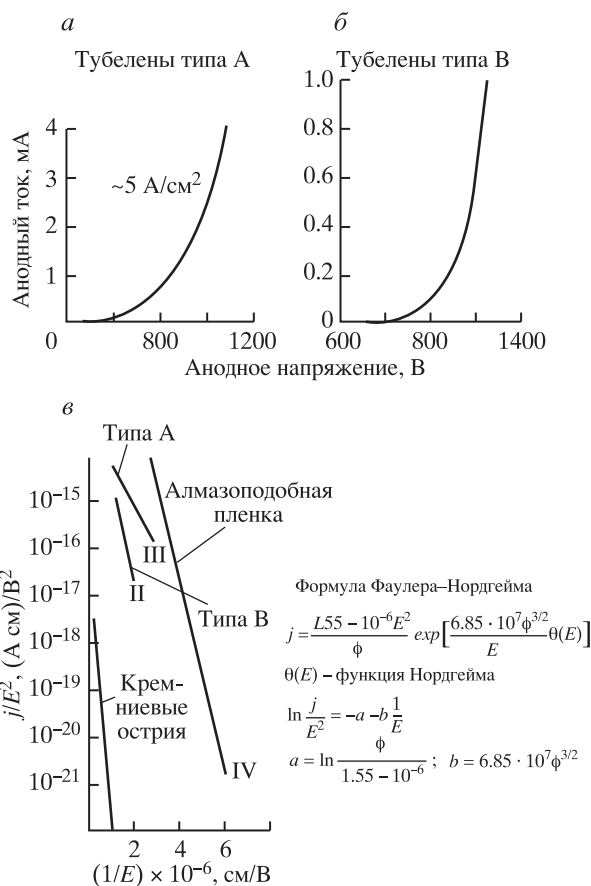


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики автоэлектронной эмиссии из углеродных нанотрубных пленок, выращенных методом CVD

$$j = \frac{L56 - 10^{-6} (\beta E)^2}{\phi} \exp \left[\frac{6.83 \cdot 10^7 \phi^{3/2}}{\beta E} \right]$$

$$1/E^2 = f\left(\frac{1}{E}\right)$$

нотрубных пленок, но при несколько более высоких полях. Они механически гораздо более стабильны, обеспечивают импульсные автоэмиссионные токи вплоть до 4 А/см^2 и имеют при этих условиях время жизни порядка 2000 час.

Благодаря совместным разработкам Института общей физики, Института радиотехники и электроники РАН и Научно-исследовательского института “Волга” в г. Саратове, уже существуют действующие макеты дисплеев с использованием углеродных нанотрубных и нанокластерных пленок. Таким образом, наряду с фундаментальными исследованиями углеродных нанотрубных и нанокластерных катодов широко проводятся работы прикладного характера по созданию соответствующих приборов и устройств вакуумной микро- и нанoeлектроники.

Литература

1. Chernozatonskii L.A. A New Nonfullerene Form of C_{60} and its Doped Metal Solids // Phys. Lett. 1991. A 160. P. 392.
2. Chernozatonskii L.A. Barrelenes/tubelenes – a New Class of Cage Carbon Molecules and its Solids // Phys. Lett., 1992. A 166. P. 55–60.
3. Косаковская З.Я., Чернозатонский Л.А., Федоров Е.А. Нановолоконная углеродная структура // Письма в ЖЭТФ. 1992. Т. 56. Вып. 1.
4. Iijima S. Helical Microtubules of Graphitic Carbon // Nature. 1991. V. 354. P. 56.
5. Gulyaev Yu.V., Chernozatonskii L.A., Kosakovskaya Z.Ya., Sinitsyn N.I., Torgashov G.V., Zakharchenko Yu.F. Field Emitter Arrays on Nanofilament Carbon Structure Films // Revue “Le Vide, Les Couches Minces”. 1994. N 271.
6. Sinitsyn N.I., Gulyaev Yu.V., Torgashov G.V. et al. Thin Films Consisting of Carbon Nanotubes as a New Material for Emission Electronics // Documentation of International Vacuum Electron Sources Conference (IVESC’96), Eindhoven, Netherlands. Applied Surface Science. 1997. N 111.

ЛИТОГРАФИЯ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 13 нм

Член-корреспондент РАН С.В. Гапонов

Обилие природных нанообъектов свидетельствует о выделенности наномира и перспективности работ по стимуляции самоорганизации и управляемого роста наноструктур. Примерами направленного формирования наноструктур могут служить полупроводниковые пленки нанометровой толщины и сверхрешетки, без которых немислима современная электроника и многослойные зеркала для управления излучением экстремального ультрафиолетового и рентгеновского диапазонов.

На вопрос: можно ли делать так, чтобы все размеры, а не только толщина, не превышали нанометров? – уже дан положительный ответ. После того, как были построены приборы, позволяющие видеть отдельные атомы, – ионный проектор, электронный и зондовый микроскопы, немедленно начались работы по созданию наноструктур и даже наносхем. Но в электронной промышленности эти методы не могут конкурировать с традиционными.

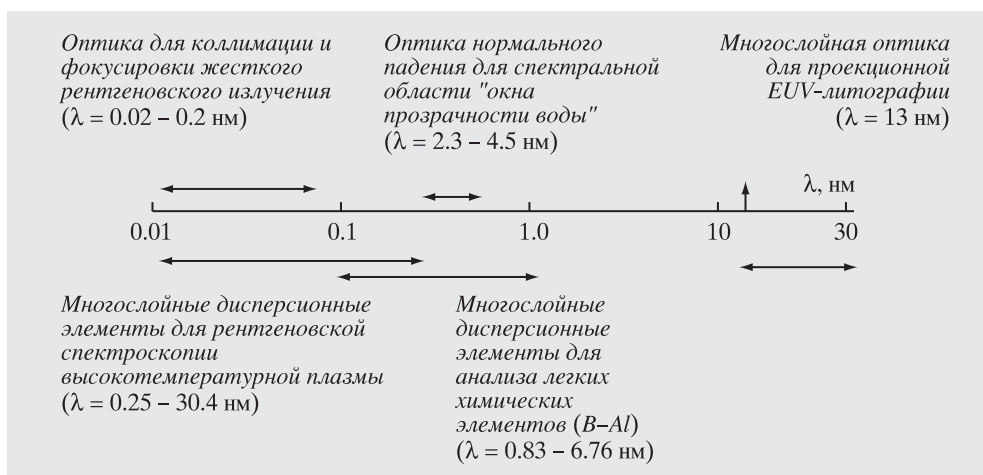


Рис. 1. Области применения многослойной экстремальной ультрафиолетовой (EUV) и рентгеновской оптики, разрабатываемой в Институте физики микроструктур РАН

В мире добываются миллионы тонн кремния, значительная часть которого потребляется электронной промышленностью, и процессы получения рисунка с производительностью меньше $10 \text{ см}^2/\text{с}$ всерьез не рассматриваются.

Обычно рисунок будущих приборов и схем делается так. Сначала тем или иным путем изготавливается увеличенное изображение (маска) прибора, которое потом с уменьшением переносится на полупроводниковую пластинку, покрытую фоточувствительным слоем, то есть фотографируется с уменьшением. Дальнейший процесс изготовления прибора весьма сложен и включает много циклов травления и осаждения новых слоев различных материалов, но почти перед каждой операцией требуется нанесение фоточувствительного слоя (резиста) и фотографирование маски с каким-то новым рисунком. Процесс получения рисунка называют литографией, а установки, на которых это делают, – литографами.

Переход ко все более и более мелким размерам идет за счет совершенствования оптических схем и вспомогательных процессов. Когда возможности исчерпаны, переходят на все более короткие длины волн. Так были освоены диапазоны 248 нм и 193 нм, осваивается диапазон 157 нм. Как правило, события развиваются по следующему сценарию: сначала возникает нужный источник излучения, потом разрабатывается оптика, резисты, установки для экспонирования и начинается промышленное освоение диапазона. После освоения диапазона 157 нм подобный сценарий станет невозможным, так как более коротковолновое излучение сильно поглощается всеми веществами. Можно думать только об использовании зеркальной оптики, размещенной в вакууме.

Многослойные зеркала – одно из самых эффективных средств для управления экстремальным ультрафиолетовым и рентгеновским излучениями. Заметим, что диапазон, в которых они используются, очень широк (рис. 1). Если самые большие длины волн этого диапазона поделить на самые корот-

Промышленное развитие литографии (прогноз США)

Годы	Источник	Длина волны, нм	Минимальные размеры элементов, нм	Емкость памяти на чипе, Гбит
2001–2002	Лазер KrF	248	180–130	1
	Лазер ArF	193		
2004	Лазер ArF	193	130–100	4
	EUVL* (плазма, синхротрон)	13		
2007	Лазер F ₂	157	100	16
	EUVL	13		
2010	EUVL	13	70	64
2013	EUVL	13	30–40	256
2015–2020	EUVL	13	10	
Программа EUVL (Extremal Ultraviolet Lithography) принята в США в 1997 г.				

кие, получится 3000 (для сравнения: в видимом диапазоне это отношение около 2).

Естественно, в таком широком диапазоне происходит много природных явлений.

Из этого диапазона нам предстояло выбрать длину волны для нанолитографии. Конечно, чем короче длина волны, тем лучше, однако для качественного воспроизведения рисунка маски объектив должен состоять из зеркал нормального падения, а это значит, что толщина двух слоев разных материалов должна быть равна половине длины волны излучения. Потому есть естественный предел длины волны для нанолитографии – это мономолекулярные слои. На практике предел наступает раньше и ограничивает рассматриваемую область со стороны коротких волн тем, что на рис. 1 обозначено как “окно прозрачности воды”. Поскольку объективы предполагаются многозеркальными, а коэффициенты отражения (они всегда меньше единицы) перемножаются, для минимизации потерь нужен максимально большой коэффициент отражения каждого зеркала. Эти требования однозначно указывают на длину волны вблизи 13 нм*, на которой в настоящее время следует строить нанолитографию. Зеркала на этой длине волны сами являются наноструктурами – системой чередующихся пленок молибдена и кремния с периодом 6.5 нм.

Чтобы построить литографический процесс на более чем в 10 раз меньшей длине волны, требуется пересмотреть всю технологию. Для его реализации необходимо разработать новые источники излучения на длине волны 13 нм, в 10 раз улучшить гладкость поверхности, точность формы и термостабильность оптических элементов, точность механических устройств установок экспонирования, фактически создать мир атомарных точностей. В таблице дан прогноз развития литографии в США, и в последней графе

* Более точно длина волны зависит от материала мишени. В настоящее время большинство предлагает ксенон, максимум излучения которого лежит на 13.5 нм.



Рис. 2. Первый литограф для диапазона 13 нм, построенный в США

приведен объем памяти на чипе, что как-то характеризует рост мощности вычислительной техники. Мы видим, что, начиная с 2004 г., планируется использование экстремальной ультрафиолетовой (EUV) литографии в промышленном производстве. Что касается лабораторного варианта EUV литографии, то в 1998 г. на фирме “Моторолла” получены первые чипы с минимальным размером элементов 70 нм, затем – 30 нм. В 1999 г. в Ливерморской национальной лаборатории США построен первый литограф, прообраз промышленного. Таким образом, в лабораторных экспериментах уже в 1998 г. достигнуты минимальные размеры элементов, планируемые в промышленности к 2013 г.

Источниками излучения могут быть синхротрон или плазма, разогретая лазерным импульсом либо электрическим разрядом. В первом литографе (α -Tool), изготовленном в США (рис. 2), для получения излучения на длине волны 13 нм используется лазерный разогрев мишени. Оптическая схема литографа с синхротронным источником показана на рис. 3.

Программы создания литографии на 13 нм существуют в США, Европейском союзе и Японии. Европейская программа несколько отстает от американской, хотя европейцы надеются почти одновременно с США прийти к промышленному применению. В нашей стране развитие литографии на длине волны 248 нм и 193 нм пришлось на смутное время. В литографии на длине волны 157 нм мы безнадежно отстали, и только наши работы в диапазоне 13 нм, благодаря хоздоговорному участию в европейской программе, выглядят прилично. Наши институты или группы ученых получают заказы на создание опытных образцов или технологий. Их использование и дальнейшее промышленное производство планируется за рубежом, но, насколько

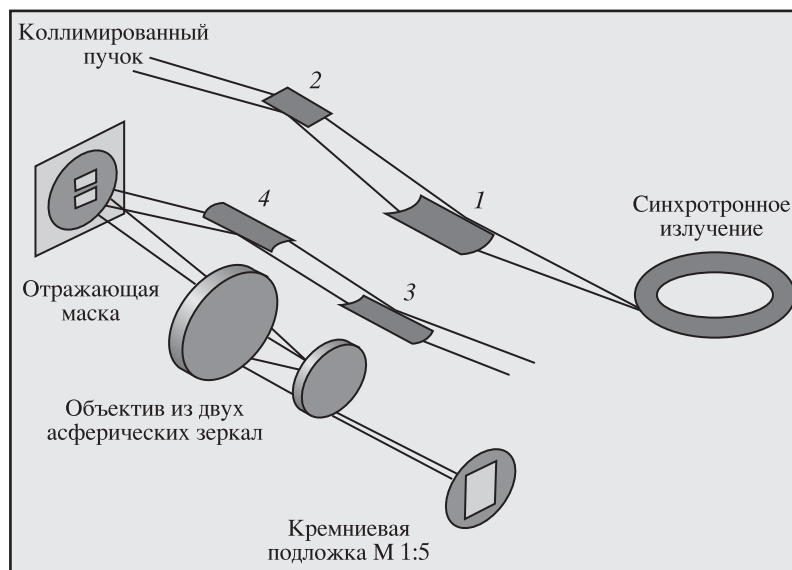


Рис. 3. Оптическая схема из двух асферических зеркал для литографа с синхротронным источником
1, 2, 3, 4 – зеркала скользящего падения

ко я знаю, все оговаривают право на применение результатов собственных исследований на территории России. Чтобы дать некоторое представление о положении дел, перечислю актуальные проблемы создания высокопроизводительной ($V_{\text{exp}} \geq 10 \text{ см}^2/\text{с}$) установки EUV-литографии с разрешением до 30 нм и отечественные организации, занимающиеся решением этих проблем в основном на деньги европейской программы:

- создание источника излучения – Институт спектроскопии РАН, Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, Институт лазерной физики, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН;
- оптимизация оптической схемы – Ленинградский институт точной механики и оптики, РНЦ “Государственный оптический институт”;
- создание основы зеркал, точность формы поверхности $\approx 0.1 \text{ нм}$, микронеровностей $\approx 0.2 \text{ нм}$ – ГУП ЦКБ “Фотон”, Институт лазерной физики;
- создание отражающих покрытий с $R \geq 70\%$ – Институт физики микроструктур РАН;
- создание методов компенсации напряжений в зеркалах – Институт физики микроструктур РАН;
- создание высокочувствительных резистов с пространственным разрешением до 30 нм – Институт химии Нижегородского государственного университета, Институт физики микроструктур РАН;
- создание отражающих масок с апертурой до 300 мм при плотности дефектов $\leq 10^{-2} \text{ см}^{-2}$ – Институт физики микроструктур РАН;
- создание системы юстировки и совмещения рисунков на маске и резисте (точность позиционирования $< 20 \text{ нм}$) – в СССР такие работы были сосредоточены в Минске.

Приведу несколько соображений в пользу государственного участия в решении всех этих проблем.

Сейчас самое время собирать результаты, но, переданные за границу, они будут жить по своим законам, а наши представления о развитии нанолитографии без поддержки будут устаревать.

Вопрос о десятикратном повышении точности формы и ровности поверхности не решишь без создания новых средств измерения и новых технологий. Распространение их в другие области науки и техники приведет к качественным изменениям, а отсутствие этого сделает неконкурентоспособным большинство наших производств.

Начиная приблизительно с 15 нм, существенными будут эффекты размерного квантования, что заставит изменить логику построения электронных схем и, возможно, принципы создания вычислительной техники. Если не принять сейчас решительных действий, мы можем остаться не в той цивилизации. На мой взгляд, это имеет то же значение, как быть или не быть членом ядерного клуба.

В то же время, если не разбрасываться и, по примеру США, объединить действительно работающих в данном направлении в некую виртуальную лабораторию (по моим оценкам, это около 100 человек) и финансировать в течение пяти лет их работу из расчета 50 тыс. долл. на человека в год (меньшее не позволит приобретать и заказывать необходимое для успешной работы оборудование), сейчас еще не поздно решить проблему развития нанoeлектроники и атомноточных технологий.

НАНОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Академик Е.П. Велихов

Важнейший процесс в микро- и нанoeлектронных производствах — *литография*. Стоимость процесса литографии, повторяющегося при производстве интегральной схемы до 20–25 раз, является определяющей в стоимости кристалла. В настоящее время есть уверенность в том, что прогресс в массовом производстве будет определяться развитием оптических степперов или степперов-сканеров с эксимерными лазерными источниками света на длинах волн 248,193.4,157 нм и, наконец, степперов в области так называемого экстремального ультрафиолета или мягкого рентгена на длине волны 13.4 нм (табл. 1). Это обеспечит возможность создания интегральных схем, сложность которых исчисляется миллиардами вентилях на одном кристалле.

Основным прибором таких схем является МДП-нанотранзистор, который сохраняет свои усилительные свойства вплоть до длин канала 5 нм. Этот прибор наноструктурный во всех трех измерениях. Рабочие слои нанотранзистора имеют размеры 1–10 нм. Представляет большой интерес и одноэлектронный транзистор, который способен функционировать при комнатной температуре, если размер его элементов (островков) составляет по порядку

Таблица 1
Оптическая нанолитография

Длина волны, нм	Достижимое разрешение, нм	Преимущества	Недостатки
193.4 (ArF)	90–70	Высокая производительность	—
157 (F ₂)	65–50	”	Оптика должна строиться на основе CaF ₂ , что увеличивает стоимость процесса литографии
13.4	30–10(?)	”	Пока нет источника излучения с нужными параметрами для промышленного применения

Таблица 2
Альтернативные методы нанолитографии

Метод	Достигнутое разрешение, нм	Примечания
Электронная нанолитография	30–7	Энергия электронов 100–200 кэВ в пучке диаметром 1–10 нм. Низкая производительность
Наноимпринт	10–6	Совмещение нескольких штампов проблематично
Применение приемов самосовмещения при использовании оптической литографии (например, <i>i</i> -линия)	40–35	Только для наиболее критичных элементов топологии

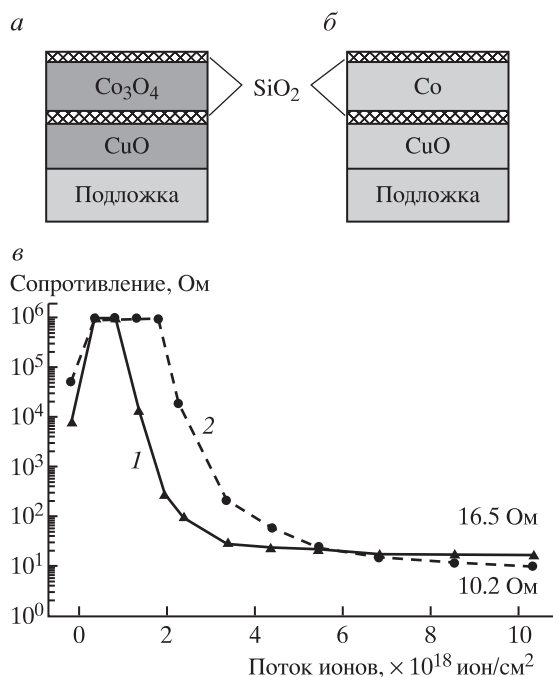
величины 1 нм. Создание технологии изготовления регулярных полей таких островков открыло бы перспективу разработки одноэлектронных устройств памяти емкостью 1 Тбит.

Наряду с оптической литографией получили развитие методы, с помощью которых уже теперь формируются отдельные наноструктуры и прототипы устройств (схем) на нанoeлектронных приборах – ИМПРИНТ и электронная литография (табл. 2). Кроме того, использование современной оптической литографии в сочетании с приемами самоформирования и самосовмещения, а также прецизионных плазменных процессов позволяет реализовать нанотранзисторы с длинами каналов в суб-100 нм диапазоне, а на их основе создавать библиотеки элементов микропроцессоров, прототипы функциональных блоков для перспективных производств.

ИМПРИНТ-литография основана на использовании штампа с нанорельефом, играющего ту же роль, что и шаблон в контактной оптической литографии. Штамп изготавливается методом электронной литографии и анизо-

Рис. 1. Схема многослойной структуры в исходном состоянии (а), после облучения протонами (б) и дозовая зависимость электросопротивления многослойной структуры в процессе облучения (в)

1 – слой Co (верхний), 2 – слой Cu (нижний)



тропного плазмохимического травления. Нанорельеф “впечатывается” в полимер, покрывающий подложку, в условиях нагрева и высокого давления. Полимер с нанорельефом служит маской в последующих операциях (травление, имплантация и т.д.). С помощью этого метода была продемонстрирована возможность создания рекордных по разрешению и плотности структур. При этом достигнутое разрешение составляет около 6 нм, а расстояние между элементами структуры – 20–30 нм [1, 2]. Главные ограничения метода заключаются в трудностях совмещения штампов для формирования различных слоев структуры. Обычно число литографий в процессе производства интегральных схем достигает 20–25. Поэтому наиболее эффективной ИМПРИНТ-литография может быть, если для создания наноструктуры необходим только один процесс литографии, а для формирования остальных слоев структуры возможно использование приемов самосовмещения, ставших уже привычными в технологии КМОП-схем.

Новый подход к формированию наноструктур, успешно сочетающийся с ИМПРИНТ-процессом, развит в РНЦ “Курчатовский институт” и основан на явлении селективного удаления атомов определенного сорта из двух- или многоатомных веществ в результате смещений атомов пучком ускоренных частиц [3]. Такая модификация приводит к радикальным изменениям физических свойств материала, например, к переходу изоляторов – в металлы или полупроводники, немагнитных материалов – в магнитные, оптически прозрачных материалов – в оптически непрозрачные, позволяет формировать заданный рельеф на поверхности твердых тел и т.д. [4–6]. Метод дает возможность создавать одновременно многослойные структуры с различной геометрией, физическими и функциональными свойствами в разных слоях за счет облучения ионным пучком через одну и ту же маску, что обеспечивает совмещение элементов структуры в различных слоях с точностью около 1 нм [6]. В результате возможно использование только одной маски (только одного штампа в ИМПРИНТ-процессе) для одновременной обработки нескольких слоев в многослойной структуре (рис. 1). Авторами работ [4–6] продемонстрировано разрешение 15 нм при создании многослойных наноструктур.

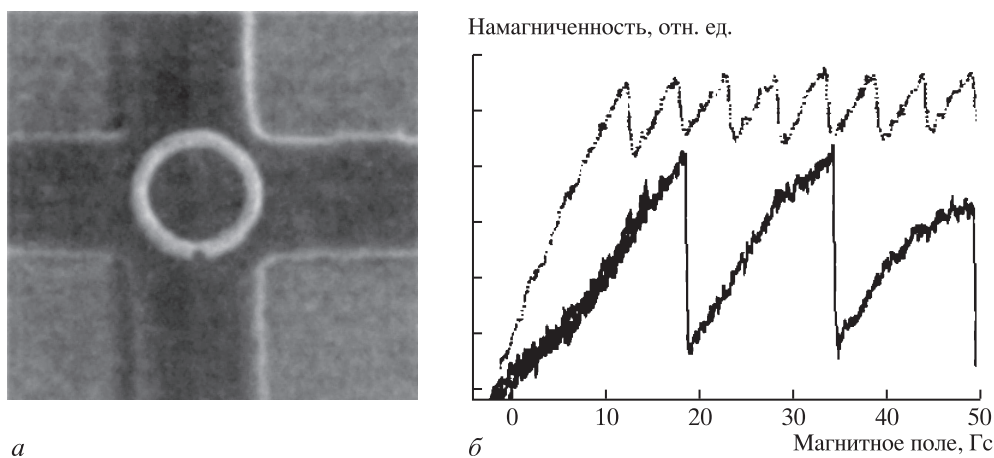


Рис. 2. Центральная часть рабочего образца со сверхпроводящим алюминиевым кольцом и сужением (а) и кривые намагниченности двух колец при температуре 0.3 К (б)

Верхняя кривая соответствует кольцу, приведенному на фотографии, нижняя – сплошному кольцу без сужения; каждый скачок на верхней кривой соответствует проникновению в кольцо одного кванта магнитного потока

В *электронной нанолитографии* используют высокоэнергетичные пучки (100–200 эВ) сечением до 1–10 нм. На органических (например, ПММА) и неорганических резистах реализуется разрешение до 10 нм. Главным ограничением электронной нанолитографии является низкая производительность. Электронно-лучевая литография развита в Институте проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН [7], создан электронно-лучевой высоковольтный микрофабрикатор с пучком диаметром не более 20 нм, обеспечивающий “врисовывание” наноэлементов, например затворов полевых транзисторов, длиной 50–100 нм в заранее созданные оптической литографией контуры остальных областей транзисторной структуры. Другой пример применения электронной нанолитографии – разработка сверхчувствительного датчика Холла [8]. Для его изготовления использовалась гетероструктура GaAlAs/GaAs с двумерным электронным газом. Благодаря высокой подвижности в холловском кресте реализуется баллистический транспорт электронов, а выходной сигнал становится пропорциональным средней величине магнитного поля в области чувствительности датчика и не зависит от пространственного распределения поля.

На рис. 2а показана центральная часть рабочего образца, где объектом исследования является сверхпроводящее алюминиевое кольцо со “слабым” участком, то есть с сужением. Ширина холловского датчика около 1.5 мкм. Размеры узкого места в кольце шириной 0.2 мкм составляют 0.1×0.1 мкм. Процесс изготовления датчика включает в себя две фотолиграфии, две электронные литографии, два этапа жидкостного травления через маски, многослойную металлизацию контактов Cr/Ge/Au/Cr/Au, формирование отжигом омического контакта к слою с двумерной проводимостью, залегающему на глубине порядка 100 нм. Ошибка совмещения слоев на этапе электронной литографии не превышает 50 нм. На рис. 2б приведены фрагменты кривых намагниченности двух колец при температуре 0.3 К. Верхняя кривая соответ-

Рис. 3. Схема формирования суб-100 нм щели

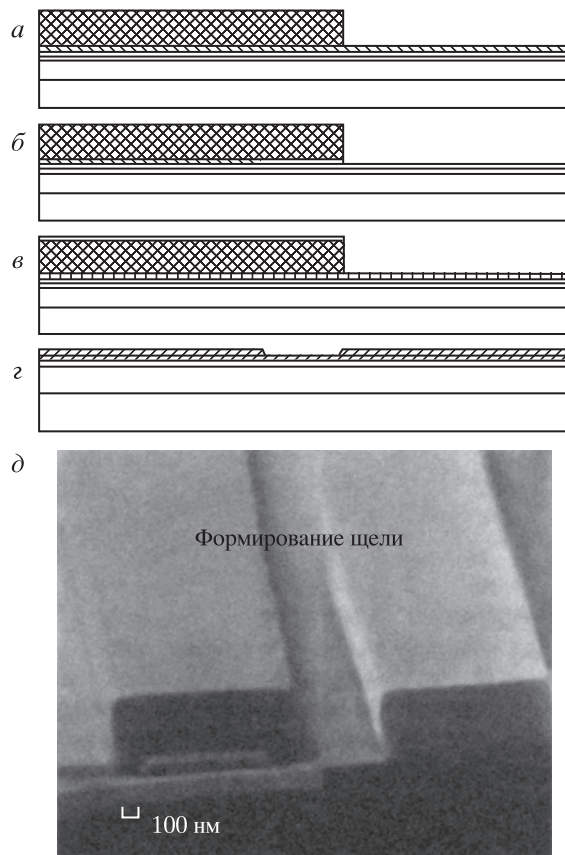
а – литография по фоторезисту, *б* – контролируемый подтрав металлической пленки под резист, *в* – нанесение металлической пленки, *г* – удаление фоторезиста методом “взрыва”, *д* – фотография структуры на стадии (*в*)

ствует кольцу, показанному на фотографии; нижняя – сплошному кольцу без сужения. Каждый скачок на верхней кривой соответствует проникновению в кольцо одного кванта магнитного потока (Φ_0). Уровень шума в экспериментах соответствует изменению внешнего поля на величину порядка 10^{-2} Гс, то есть для датчика площадью 2 мкм^2 чувствительность составляет $10^{-3} \Phi_0$.

Формирование суб-100 нм структур возможно с помощью оптической литографии, например, доступной в промышленности литографии на i-линии ртутной лампы. В Физико-технологическом институте РАН

для получения затворов нанотранзисторов длиной 35–40 нм используется прием самосовмещения [9], основанный на формировании хорошо контролируемого “подтрав” тонкой металлической пленки заданной толщины под резист, резкость края которого обеспечивается специальной плазменной обработкой (рис. 3). Это позволило создать оригинальный технологический маршрут для производства нанотранзисторов и интегральных схем на их основе с применением только оптической литографии [10].

Важную роль в нанотехнологии играют *плазменные процессы*. В современной технологии кремниевых интегральных схем плазменные процессы следуют за каждой литографией. В промышленном производстве используются технологические установки – кластеры, объединяющие несколько плазмохимических камер. Необходимо не только воссоздать наноразмеры в фоторезисте, но и сформировать наноструктуры в рабочих слоях (например, в SiO_2 , Si_3N_4 или в Si). Возможности применения плазменных процессов постоянно расширяются. Это – высокоанизотропное травление отдельных слоев наноструктур, низкотемпературное осаждение диэлектриков, удаление фоторезиста, очистка поверхности пластин от органических загрязнений и атомов тяжелых металлов, планаризация, ионная имплантация и др. Технологии и прототипы оборудования для их реализации разработаны в Физико-технологическом институте РАН на основе новых типов широкоапертурных



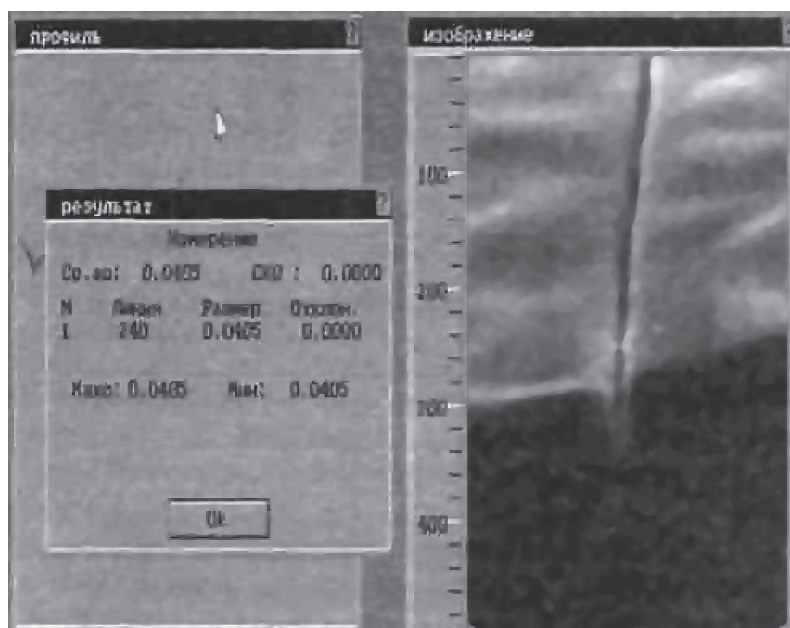


Рис. 4. Наноцель в SiO_2 шириной 40 нм, полученная плазмохимическим травлением

источников плотной плазмы, обеспечивающих равномерные потоки ионов и электронов (по плотности и температуре) на пластины большого диаметра. Продemonстрировано высокоанизотропное глубокое травление наноцелей шириной до 35–40 нм в SiO_2 (рис. 4). Разработан плазмо-иммерсионный ионный имплантер (рис. 5), который позволяет формировать p – n переходы стока и истока нанотранзисторов с глубиной залегания 10–60 нм при ускоряющих напряжениях 0.5–5 кВ [11]. Методом плазмостимулированного осаждения получены тонкие слои кремнийсодержащих диэлектриков при комнатной температуре подложки [12].

Все большее значение в нанoeлектронике обретает *моделирование нанотехнологических процессов и приборов*. Современные вычислительные средства позволяют осуществлять моделирование такого процесса, как рост тонкой пленки, в том числе из первых принципов, отслеживая послойный рост. Это тем более актуально, что толщина тонких пленок в наноструктурах достигает 1 нм, например, толщина подзатворного диэлектрика в суб-100 нм МДП-транзисторе. Такие работы развиты в РНЦ “Курчатовский институт” и в Физико-технологическом институте РАН.

Особая роль моделирования в нанотехнологии определяется тремя факторами. Во-первых, сравнительно небольшие размеры нанообъектов позволяют использовать *атомистическое моделирование* для описания образования, структуры и свойств объекта. Во-вторых, атомистическое моделирование, как правило, основано на первых принципах, что делает этот подход предсказательным и, в известном смысле, независимым от эксперимента источником фундаментальных знаний о структуре и свойствах нанообъектов. В-третьих, размеры нанообъектов являются промежуточными между размерами молеку-

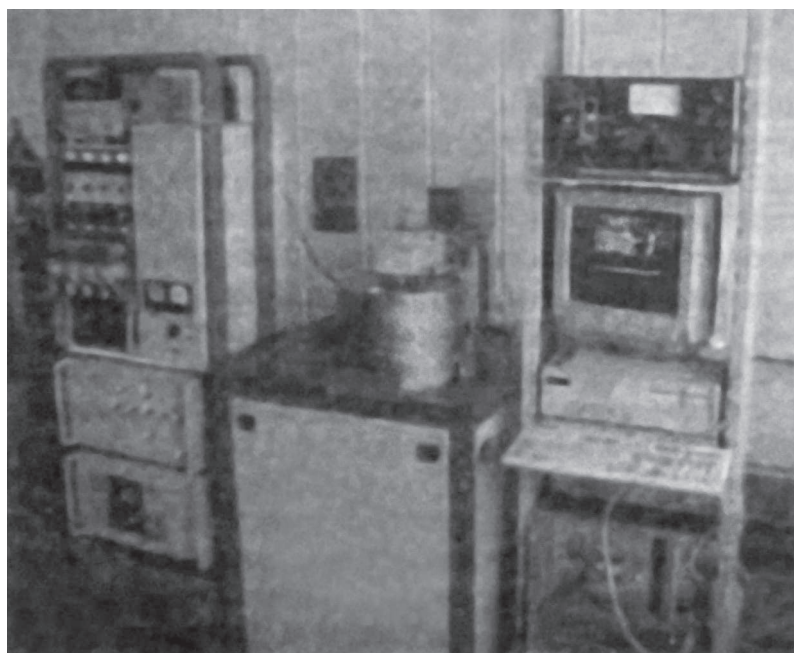


Рис. 5. Плазмо-иммерсионный ионный имплантер для формирования сверхтонких легированных областей

лярных и протяженных систем. Исследование нанообъектов традиционными экспериментальными методами затруднительно, так как результаты этих исследований (например, результаты, полученные методами туннельной или атомносиловой микроскопии) нуждаются в надежной теоретической интерпретации с использованием атомистических методов. Особый интерес для атомистического моделирования представляют твердотельные наноструктуры: квантовые точки и провода, атомные кластеры, сверхтонкие пленки, нанотрубки, фуллерены и т.п.

Для атомистического моделирования используют квантово-химические и молекулярно-динамические методы. Они позволяют предсказывать различные физико-химические свойства и структуру большого класса наноразмерных систем. Для описания кинетики образования нанообъектов, а также зависимостей структуры и свойств нанообъектов от условий их получения используются методы кинетического Монте-Карло, молекулярно-динамические методы, а также новые гибридные методы, с помощью которых моделируют реальные процессы формирования и роста наноструктур. Примером успешного применения атомистического моделирования служат работы, направленные на описание процессов роста и свойств диэлектрических пленок [13, 14] для новых поколений интегральных микросхем на основе КМОП-технологии. Исследование выполнено в РНЦ “Курчатовский институт” в рамках развитого в [13] подхода – кМС-DR, основанного на комбинировании метода кинетического Монте-Карло с молекулярно-динамическим. Моделирование позволяет описать структуру пленки ZrO_2 и интерфейса между пленкой и подложкой (рис. 6), определить ее химический и фазовый состав, а также исследовать электрические свойства.

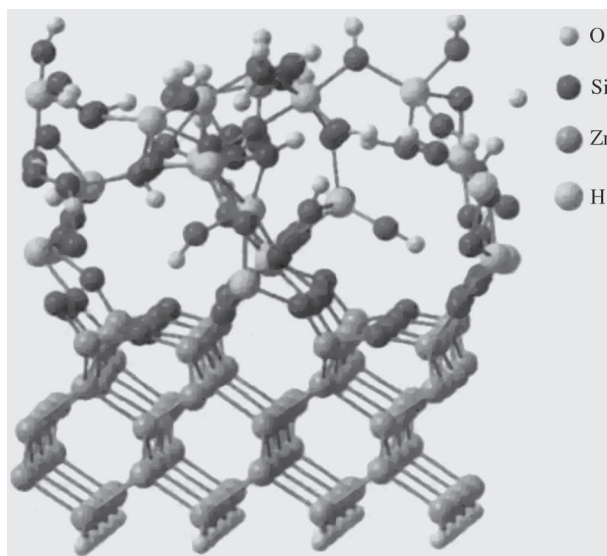


Рис. 6. Рассчитанная структура пленки ZrO_2 после четырех циклов послойного химического осаждения из ZrCl_4 и H_2O

Нанообъекты являются составной частью макросистем. Этим объясняется необходимость развития *многоуровневых методов описания*, совмещающих в себе атомный, мезоскопический и макроскопический масштабы. Такие подходы используются для описания перспективных технологий: молекулярно-лучевой эпитаксии, послойного химического осаждения, осаждения, стимулированного плазмой, плазменного и ионного травления.

Еще одна специфическая особенность моделирования наносистем – необходимость учета *статистических и квантовых флуктуаций* в их поведении. Это связано с относительно небольшим числом частиц, составляющих такие системы. При моделировании нанообъектов и наноприборов, а также построении соответствующих вычислительных моделей приходится во многих случаях использовать методы квантовой и классической статистики. Необходимость практического применения этих методов моделирования требует их дальнейшего развития: совершенствования методов и алгоритмов, создания интегрированных пакетов компьютерных программ, включающих базы данных, совершенствования методов обработки и визуализации получаемых результатов.

Литература

1. Chou S., Krauss P., Zhang W. *et al.* Sub-10 nm imprint lithography and applications // J. Vac. Sci. Technol. 1997. В 15(6). P. 2897–2904.
2. Carcenac F., Vieu C., Lebib A. *et al.* Fabrication of high density nanostructures gratings (>500 Gbit/in²) used as molds for nanoimprint lithography // Microelectronic Engineering. 2000. V. 53. P. 163–166.
3. Гурович Б.А., Долгий Д.И., Кулешова Е.А., Велихов Е.Л. и др. USA Patents № 6.218.278 № 6.004.726 priority 05/22/98.

4. Гурович Б.А., Долгий Д.И., Кулешова Е.А., Велихов Е.П. и др. Управляемая трансформация электрических, магнитных и оптических свойств материалов ионными пучками // Успехи физических наук. 2000. Т. 44. № 1.
5. Gurovich B., Dolgii D., Meilikhov E., Kuleshova E. New Technique for Producing Patterned Magnetic Media // Intermag Europe 2002 (Amsterdam, April–May, 2002). Digest FP10.
6. Gurovich B.A., Dolgy D.I., Kuleshova E.A., Meilikhov E.Z. et al. Selective Removal of Atoms as a New Method for Fabrication of Nanoscale Patterned Media // Special issue of Microelectronic Engineering. To be published.
7. Аристов В.В., Казьмирук В.В. Разработка электронно-лучевого оборудования для литографии и электронной микроскопии // Тезисы докладов на Всероссийской конференции “МНЭ-2001”. Звенигород, 2001. Т. 1. О1-4.
8. Geim A.K., Dubonos S.V., Palacios J.J. et al. Fine Structure in Magnetization of Individual Fluxoid States // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 58. P. 1528–1531.
9. Валиев К.А., Горбачев А.А., Кривошницкий А.Д. и др. Способ изготовления полупроводникового прибора с Т-образным управляющим электродом субмикронной толщины. ФТИАН. Патент РФ № 2192069. 10.07.2000.
10. Krivospitsky A.D., Okshin A.A., Orlikovsky A.A., Semin Yu.F. Submicron structures formation with the help of usual photolithography and self-formation method // Proc. of IPT RAS. Ed. By A.A. Orlikovsky. 2000. V. 16. P. 71–83.
11. Аверкин С.Н., Аверкина Т.И., Валиев К.А. и др. Плазмо-иммерсионный ионный имплантер для формирования супермелкозалегающих p - n переходов // Тезисы докладов Всероссийской конференции “МНЭ-2001”. Звенигород, 2001. Т. 1.
12. Орликовский А.А. Плазменные процессы для нанотранзисторной электроники // Информационные технологии и вычислительные системы / Под ред. С.В. Емельянова. ОИВТА РАН. 2000. № 2. P. 74–83.
13. Knizhnik A., Potapkin B., Bagaturyants A., Korkin A. // Comp. Mat. Sci. 2002. V. 24. P. 128.
14. Brodskii V., Rykova E., Bagaturyants A., Korkin A. // Comp. Mat. Sci. 2002. V. 24. P. 278.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНФОРМАТИКЕ И МЕТРОЛОГИИ

Академик К.А. Валиев

XX век стал эпохой первой квантовой технической революции, характеризующейся разработкой и массовым применением классических технических систем, построенных на знании квантовых законов строения материи. В XXI в. ожидается вторая квантовая техническая революция, основанная на приборах, функционирующих по квантовым законам [1]. Квантовые приборы изготавливаются нанотехнологическими методами, то есть являются продуктом нанотехнологий (рис. 1).

Рождение квантовой идеи состоялось 14 декабря 1900 г., когда Макс Планк на заседании Физического общества в Берлине сделал доклад о квантовых свойствах спектра теплового излучения твердого тела. Потребовалось 30 лет упорного труда (1900–1930) для открытия квантовых законов строения атомов и построения величественного здания квантовой механики (А. Эйнштейн, Н. Бор, Л. де-Бройль, В. Гейзенберг, Э. Шредингер). Успешное применение квантовой механики для описания атомов, молекул, твердого тела, атомного ядра позволило создать приборы, обеспечившие в XX в. первую квантовую техническую революцию: электронные лампы, полупроводнико-



Рис. 1. Экспоненциальное уменьшение размеров приборов микроэлектроники приводит к элементам нанометрового размера, подчиняющимся законам квантовой механики

вые транзисторы, лазеры и ядерно-энергетические установки. Эти приборы используют квантовые свойства тел, но работают по законам классической физики. На основе квантовой физики полупроводников родилась микроэлектроника, позволившая осуществить информационную революцию в жизни общества.

Развитие технологии микроэлектроники, переход ее в стадию нанотехнологии обеспечены непрерывным уменьшением размеров приборных структур. Чем меньше размеры структур, тем явственнее проявляется квантовая природа материи. Развитие физики постепенно привело к созданию методов работы с отдельными атомами, ионами, электронами, атомными ядрами, столь малыми объемами вещества, что физические процессы в них полностью описываются квантовыми законами. Происходит смена парадигмы работы физических приборов – законы классической физики сменяются квантовыми.

Физическая система (электрон, атом и т.д.) описывается в квантовой механике волновой функцией, обладающей фазой и поэтому способной к интерференции. При постоянной разности фаз интерференция становится наблюдаемой. По аналогии с когерентным светом волновая функция также является когерентной (способной к интерференции). Исходя из этой аналогии, приборы, работающие по квантовым законам, можно назвать квантово-когерентными приборами. Элементная база квантовой информатики представляет собой квантово-когерентную электронику.

Квантово-когерентными состояниями могут обладать также тела макроскопических размеров – сверхпроводники, сверхтекучие жидкости, бозе-эйнштейновские конденсаты атомных газов (БЭК). Исследования сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей имеют почти столетнюю историю. БЭК же стали экспериментальной реальностью только в конце XX в., когда удалось охладить атомные газы (лазерными методами охлаждения [2]) до температур порядка 10^{-9} К. Атомный газ в состоянии БЭК характеризуется волновой функцией, с которой можно делать то же, что со световой волной в оптике. Таким образом, оптика волновой функции БЭК представляет собой оптику волн материи. Удалось создать в том числе лазеры для волн материи – источники когерентных волн материи. Наблюдая интерференцию волн материи, можно создать квантово-атомные гравитометры, на десять порядков более

чувствительные, чем интерферометры для электромагнитного излучения (света) [3]. Применение БЭК-газов обещает революцию в метрологии.

Квантово-когерентной волновой функцией можно описывать также однофотонные и многофотонные состояния света. Изучением таких состояний света занимается квантовая оптика. Однофотонные состояния света используются в системах квантовой связи. Квантовая линия связи в современных опытах представляет собой одномодовое световолокно, а передаваемые данные кодируются в квантовом состоянии, например, в поляризации или фазе одиночных фотонов. В проводимых экспериментах расстояние между абонентами достигает 30 км (определяется поглощением фотонов или искажением его квантового состояния – поляризации, фазы). Источником одиночных фотонов служат сверхслабые лазерные импульсы. Приемниками одиночных фотонов являются лавинно-пролетные диоды. Кодирующими (декодирующими) элементами служат те или иные оптические устройства. Считается, что построение квантовых линий связи является реализуемой в близкой перспективе задачей.

Квантовая оптическая интерферометрия позволяет повысить точность измерения разности фаз волн. Особый интерес вызывают возможности, обеспечиваемые в оптической микроскопии и литографии применением многофотонных состояний света особого рода, так называемых запутанных состояний. В таких состояниях можно достичь высокой степени пространственных квантовых корреляций между фотонами. В бифотонном состоянии света, например, “пространственные свойства” обоих фотонов, составляющих бифотон, описываются тождественно. В результате импульс бифотона P_B равен удвоенному импульсу одного фотона P_p , а длина волны де-Бройля λ_{d-B} вдвое меньше, чем длина волны одного фотона ($\lambda_{d-B} = h/p$). Работая со светом в бифотонном состоянии, достигаем двукратного повышения разрешающей способности в оптической микроскопии и литографии:

$$l_{\min} = K \frac{\lambda}{NA} \Rightarrow K \frac{(\lambda/2)}{NA},$$

где NA – числовая апертура объектива микроскопа или литографической системы, $K = 0.4-0.8$ – числовой коэффициент. Создание источников n -фотонных квантово-коррелированных (запутанных) состояний света обеспечило бы n -кратное преодоление дифракционного предела разрешения.

Хотя и с некоторым запаздыванием по сравнению с развитием микроэлектронных интегральных схем, в настоящее время происходит бурное развитие техники микроэлектромеханических систем (MEMS). Очевидны возможности перехода MEMS в квантовый режим, создание квантовых электромеханических систем (QEMS). Маятник (осциллятор) с наноразмерами будет вести себя как квантовый прибор, если квант энергии колебаний $hf > k_B T$, а добротность маятника $Q > 10^5$ (коэффициент затухания колебаний мал). Взаимодействие квантового осциллятора с единичным спином может указать путь к построению магнитно-резонансного силового микроскопа, позволяющего наблюдать состояние спина единичного электрона [1].

Наряду с возможностями использования квантовых систем для построения систем связи и в метрологии, важное значение имеет построение

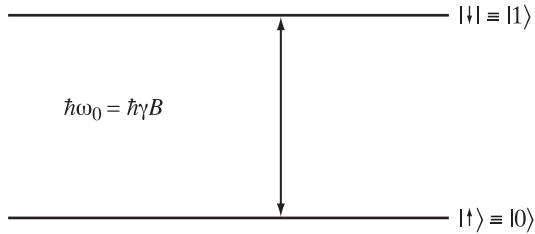


Рис. 2. Уровни энергии ядерного спина с $I = 1/2$ с гиромагнитным отношением $\gamma > 0$ в магнитном поле B (положительное значение проекции спина соответствует направлению его по полю)

квантовых компьютеров. Идею о квантовых вычислениях впервые высказал российский математик Ю.И. Манин в 1980 г. в книге “Вычислимое и невычислимое” [4]. Но активно она стала обсуждаться после публикации в 1982 г. статьи Р. Фейнмана [5].

Базовым элементом квантового компьютера является квантовый бит-кубит. В качестве кубита может быть избрана любая квантовая система с двумя состояниями, характеризующимися соответствующими этим состояниям волновыми функциями $|\varphi_0\rangle$ и $|\varphi_1\rangle$. Удобным примером кубита является ядерный спин $I = 1/2$, который в постоянном внешнем магнитном поле B имеет два уровня энергии $E_0 = 0$ и $E_1 = \hbar\gamma B$, соответствующие направлению спина по полю и против поля (рис. 2).

Физика “превращается” в информатику, когда мы связываем с состояниями $|\varphi_0\rangle$ и $|\varphi_1\rangle$ значения логического нуля $|0\rangle$ и логической единицы $|1\rangle$, присущие квантовому биту-кубиту. Переходы между состояниями $|\varphi_0\rangle \leftrightarrow |\varphi_1\rangle$ квантовой системы (квантовая динамика) будут означать информационные переходы $|0\rangle \leftrightarrow |1\rangle$ в процессе квантовых вычислений.

Схема квантового компьютера представлена на рис. 3. По существу, квантовый компьютер представляет собой регистр из n кубитов (начальное состояние регистра $|\psi_i\rangle = (0_1 0_i \dots 0_n)$). Процесс квантовых вычислений математически выражен как умножение 2^n – мерного вектора $|\psi_i\rangle$ на матрицу $U(2^n \times 2^n)$ размерности $2^n \times 2^n$; в результате регистр переходит в финальное состояние $|\psi_f\rangle$:

$$|\psi_f\rangle = U(2^n \times 2^n) |\psi_i\rangle.$$

Измерением состояния кубитов в суперпозиции $|\psi_f\rangle$ получаем классическую информацию о решении задачи, алгоритм которой заключен в матрице $U(2^n \times 2^n)$.

Квантовые свойства регистра из n кубитов обеспечивают новые информационные ресурсы, проявляющиеся в квантовых вычислениях.

Ограниченный физический ресурс квантового регистра, состоящего из небольшого числа ($n = 10^3$) частиц (кубит) создает экспоненциально большой $2^n = 2^{1000} \sim 10^{300}$ математический (информационный ресурс), равный размерности 2^n гильбертова пространства состояний системы.

Следствие из п. 8.1 : 2^n – кратный параллелизм квантовых вычислений: при изменении состояния любого из кубитов перестраиваются все 2^n проекций a вектора состояния $|\psi_n\rangle$ системы из n кубитов.

Гильбертово пространство – пространство комплексных чисел. Это позволяет использовать явление интерференции волновых функций как вычис-

Рис. 3. Схема квантового компьютера. Квантовый регистр из n -кубитов “встроен” в структуру классической управляющей ЭВМ

лительный прием (точнее, в ходе вычислений интерференция происходит автоматически).

Суперпозиции $|\psi_n\rangle$, не представимые в виде произведения волновых функций отдельных кубитов, соответствуют запутанным

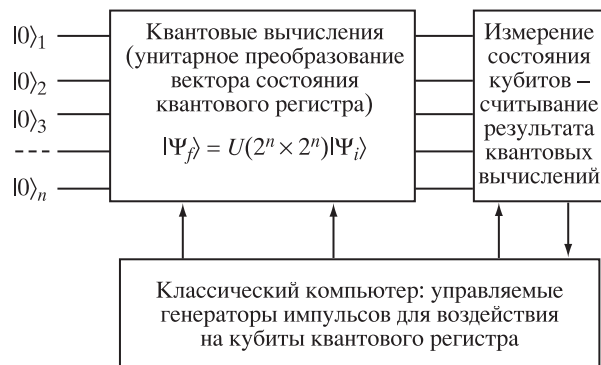
состояниям регистра. Запутанные состояния $|\psi_n\rangle$ обладают дополнительным квантовым ресурсом – суперкорреляцией между состояниями отдельных кубитов. Это позволяет объединить вычислительные ресурсы всех n -кубит квантового компьютера в единое целое, построить новые типы квантовой связи, например, осуществить протоколы квантовой телепортации [6–9].

Описанные выше информационные ресурсы квантового регистра позволяют найти решение задач, для которых не найдены эффективные классические алгоритмы. Примером является квантовый алгоритм Шора (1994) разбиения большого числа N на простые множители. Лучший алгоритм для классического компьютера требует $\exp[(\log N)^{1/3}(\log \log N)^{2/3}]$ операций, тогда как квантовый компьютер решает ту же задачу за $(\log N)^3$ операций. Экспоненциальный коэффициент ускорения решения задачи на квантовом компьютере $\exp[(\log N)^{1/3}(\log \log N)^{2/3}]/(\log N)^3$ тем больше, чем больше число N . Задачу, которую нельзя решать на классическом компьютере (за разумное время), можно выполнить на квантовом компьютере. Изменение парадигмы вычислений (переход от классической физики к квантовой) изменяет класс ее сложности.

Квантовый алгоритм поиска в неструктурированной базе данных (Гровер, 1996) обеспечивает квадратичное ускорение (\sqrt{N} операций для классического компьютера, N – для квантового, N – число элементов в базе данных). С точки зрения перспектив применения квантовых компьютеров в науке, важным является экспоненциальное ускорение решения задач по моделированию многочастичных квантовых систем на квантовом компьютере (Фейнман, 1982; Ллойд, 1996).

Результат квантовых вычислений определяется измерением конечного состояния кубитов. Измерение кубита в состоянии $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ всегда дает дискретный результат: 0 или 1 с вероятностями $P(0) = |\alpha|^2$, $P(1) = |\beta|^2$. Это означает, что с точки зрения получаемой классической информации о результате решения задачи квантовый компьютер является вероятностным цифровым компьютером.

С другой стороны, в процессе управления кубитами квантового компьютера изменяются только коэффициенты α , β суперпозиции, описывающей вектор состояния кубита: $U(2^n \times 2^n) (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) = \alpha'|0\rangle + \beta'|1\rangle$, причем α , β принимают непрерывный ряд значений, т.е. являются аналоговыми вели-



чинами. Отсюда следует, что по способу управления квантовый компьютер является аналоговым компьютером.

На заре развития вычислительной техники (50–60-е годы XX в.) аналоговые (классические) ЭВМ успешно дополняли цифровые ЭВМ. В последующие годы они были вытеснены цифровыми ЭВМ из-за невысокой точности получаемых решений, обусловленной техническими трудностями на пути повышения точности контроля аналоговых параметров – токов и напряжений; последние удавалось контролировать только с точностью порядка 10^{-2} . По современным оценкам, ошибка P/P в задании параметров управляющих кубитами сигналов (импульсов) должна быть меньше 10^{-5} – 10^{-4} . Такую цену должны заплатить создатели квантового компьютера за сюрприз встречи с минотавром – цифровым компьютером с аналоговым управлением.

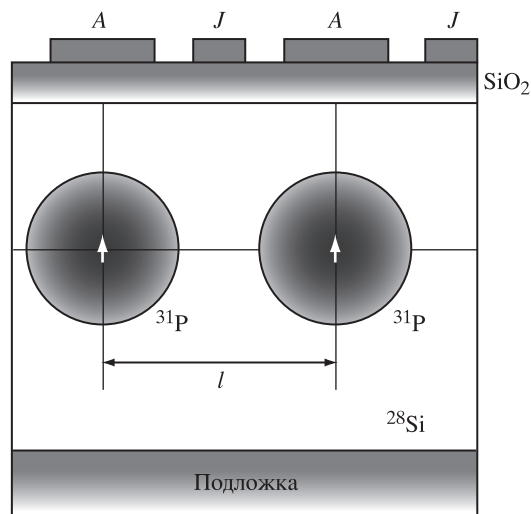
На уровне наноструктур, отдельных атомов и электронов, спинов атомных ядер квантовые свойства универсальны: можно сказать, “внизу”, в малых размерах, все квантово. Неудивительно, что имеются десятки предложений, на чем построить кубиты и квантовый компьютер. Активная теоретическая и экспериментальная работа по созданию квантовых компьютеров ведется на следующих физических системах:

- ионы в ловушках (одномерные ионные кристаллы);
- ядерные магнитные моменты в молекулах жидкостей (ЯМР в жидкостях);
- сверхпроводниковые мезоструктуры;
- атомы ^{31}P в кристаллах ^{28}Si ;
- электроны в гетероструктурных квантовых точках;
- атомы (ионы) в ловушках в оптических резонаторах;
- одиночные фотоны в линейных оптических системах.

Разрез структуры чипа кремниевого квантового компьютера с двумя атомами ^{31}P приведен на рис. 4. Электрическим напряжением на электроде A можно настроить в резонанс с внешним радиочастотным полем ядерный спин атома, находящегося под этим электродом; так осуществляется управление данным ядерным спином-кубитом. Взаимодействие между кубитами “включается”, если подать напряжение (+) на два электрода A и электрод J между ними; тогда возникает перекрытие волновых функций соседних атомов и взаимодействие их ядерных спинов-кубитов, которое позволяет осуществить двухкубитовые операции, необходимые при квантовых вычислениях.

При изготовлении элементов квантовых компьютеров используется весь арсенал нанотехнологий, разработанных в микроэлектронике: методы литографии нанометрового и атомного разрешения, молекулярной эпитаксии, зондовые методы атомной сборки. Оказывается необходимым привлечение также накопленного физикой в последние десятилетия арсенала методов спектроскопии, лазерного охлаждения газов (до микро- и нанокельвин), разделения изотопов (изотопной очистки материалов). Несомненно, потребуются разработать новые технологии – методы имплантации одиночных атомов, транспортировки атомов вдоль поверхности твердого тела, источники и детекторы одиночных фотонов и др. Приведем в качестве примера перечень основных технологических проблем создания квантового компьютера

Рис. 4. Схематическое изображение двух кубитов на атомах ^{31}P в кристалле бесспинового кремния. Управление кубитами совершается изменением электрических напряжений на электродах A, J



на ядерных спинах атомов ^{31}P в кремнии (рис. 4): изотопная очистка кремния; рост тонких бездефектных монокристаллических слоев бесспинового кремния ^{28}Si , рост бездефектного барьерного (диэлектрического) слоя; создание 10 нм системы металлических затворных электродов; имплантация одиночных атомов ^{31}P в заданные точки объема Si под электродами A ; создание низкотемпературной электроники управления напряжениями на нанозатворах; охлаждение “чипа” квантового компьютера до температур порядка 100 mK.

Технологические проблемы создания систем управления кубитами и изготовления самих кубитов не носят принципиального характера и со временем могут быть решены. Когда это произойдет – зависит от размеров привлеченных сил и средств.

Одной из трудных задач в проблеме создания квантового компьютера является измерение состояния отдельного кубита, построенного на одиночной частице (атом, электрон, спин электрона или атомного ядра). Предлагаемые методы решения задачи логически соответствуют тому, что в математике называется “свести задачу к решенной”. Решенная экспериментальная задача имеет два варианта:

1. Наблюдая оптическую люминесценцию на одиночном атоме (в ловушке), можно определить, какой уровень энергии атома заселен (в каком состоянии находится оптический кубит).

2. Ток через полевой транзистор с наноразмерами резко изменяется в зависимости от присутствия одиночного электронного заряда вблизи его затвора. Таким образом, информацию о состоянии спина необходимо преобразовать в информацию о заселенности оптических уровней атома или присутствия (отсутствия) заряда в области затвора транзистора.

Третий, альтернативный путь решения задачи об измерении состояния кубита – строить кубит не на одиночной частице, а на статистически большом ансамбле частиц, создавать ансамблевый кубит. Успешность экспериментов по квантовым вычислениям на ЯМР в молекулярных жидкостях основана именно на этом факте.

В заключение коснемся важнейшего вопроса, относящегося к технологии квантовых систем вообще и квантового компьютера в частности, – влиянии шумов, создаваемых окружением, на их функционирование. Из схемы квантового компьютера (рис. 4) видно, что мы контролируем квантовое состояние той части мира, которую мы выделили как кубиты, а также классические

управляющие системы (импульсы). Вся остальная часть Вселенной может быть отнесена к неконтролируемому окружению квантового компьютера. Кубиты невозможно полностью изолировать от окружения, взаимодействие с окружением вызывает изменения фазы и амплитуды векторов состояния кубитов и компьютера в целом. С другой стороны, возникают изменения в векторе состояния окружения, коррелированные с изменениями в векторе состояния компьютера, что можно трактовать как необратимый процесс утечки информации о состоянии компьютера к окружению. Поскольку окружение огромно и мы его квантовое состояние не контролируем, приходится, для того, чтобы определить оставшуюся в квантовом компьютере информацию, прибегать к статистическому усреднению по переменным окружения. Полученный в результате усреднения результат поистине ужасен: состояние компьютера перестает быть когерентным (становится “смешанным”, то есть описывается диагональной матрицей плотности, не содержащей фазовую информацию о состоянии компьютера).

Время, в течение которого квантово-когерентное состояние теряет когерентность, называется временем декогерентизации τ_{dc} . Квантовый компьютер, приготовленный в начальный момент в квантово-когерентном состоянии и в котором запущен вычислительный процесс, будет работать исправно (согласно уравнению Шредингера) только в течение времени $t < \tau_{dc}$. Удастся доказать, что если для одного отдельного кубита время декогерентизации равно τ_{dc}^Q , то для регистра из n -идентичных кубитов $\tau_{dc}^{(n)} = \tau_{dc}^Q/n$ (и даже $\tau_{dc}^{(n)} = \tau_{dc}^Q/n^2$, если все кубиты имеют одно и то же (когерентное) окружение. Таким образом, взаимодействие с окружением быстро разрушает квантовую когерентность состояния компьютера, и тем быстрее, чем больше кубитов содержит компьютер.

Выход из казавшейся тупиковой ситуации был найден открытием методов квантовой коррекции ошибок, который требует введения дополнительного числа вспомогательных кубитов,готавливаемых в начальном состоянии $|0\rangle$ (энтропия кубита в заданном базовом состоянии равна $S = 0$). Информация, содержащаяся в логическом кубите, кодируется в состоянии большего числа (3; 5; 7; 9 etc) кубитов. Ошибки, возникшие в ходе процессов декогерентизации кубитов, в ходе процедур коррекции ошибок перекачиваются к вспомогательным кубитам; при этом первоначальный логический кубит освобождается от ошибок [6–8].

В настоящее время считается доказанным, что квантовый компьютер может работать сколь угодно долго, сохраняя квантовую когерентность состояния, если периодически совершать в нем процедуры коррекции ошибок, при условии, что вероятность ошибки за время одной операции ниже некоторого предела, например, $P < 10^{-4}$. Моделирование работы квантового компьютера показывает, что приходится платить за это довольно высокую цену: количество вспомогательных кубитов может превышать число логических кубитов в тысячи раз, а количество операций, выполняющих процедуры коррекции ошибок, также в 10^2 – 10^3 раз больше числа вычислительных операций [10].

Осуществление новой квантовой революции – разработка и широкое применение квантовых технологий и квантовой техники в информатике, метрологии, робототехнике – требует, как видно из предыдущего анали-

за, решения следующих основных задач: 1) совершенствование существующих и разработка новых нанотехнологий изготовления физических структур кубитов и других квантовых систем; 2) разработка высокоточных ($P/P = 10^{-4}$ – 10^{-5}) классических технических систем контроля кубитов (генераторов импульсов); 3) разработка и освоение практически удобных методов измерения состояния кубитов; 4) разработка и практическое освоение методов борьбы с декогерентизацией квантовых систем. Успешное решение этих задач позволило бы вывести, образно говоря, квантовый мир наружу, чтобы он сосуществовал в технической практике человека наряду с классическим. Квантовые технические системы при этом будут иметь классическое обрамление (интерфейс), посредством которого они общаются с человеком как классической системой (см. выше схему квантового компьютера). Нет также нужды доказывать, что квантовая техника и квантовые технологии не заменяют классическую технику и технологии, – они будут дополнять их, позволяя решать задачи, оставшиеся недоступными классическим системам.

Исследования в области квантовой информатики, приборов и технологий ведутся учеными ряда институтов РАН: МИАН им. В.А. Стеклова, ФИАН им. П.Н. Лебедева, ИФТ им. Л.Д. Ландау, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ИФП им. П.Л. Капицы, КФТИ им. Е.К. Завойского, ИФТТ, ИФП СО РАН, ФТИАН, ИПТМ. В исследованиях в этой области участвует большая группа ученых МГУ им. М.В. Ломоносова, возглавляемая В.А. Садовничим. Круг организаций и список ученых, разрабатывающих проблемы квантовых технологий, постоянно расширяется. Я уже не говорю о бурном развитии исследований в США, Западной Европе, Японии.

Литература

1. *Dowling J.P., Milburn G.J.* Quantum technology: the second quantum revolution. *Quantph* // 020609.
2. *Metcalf H.J., Straten P. van der.* Laser cooling and trapping. Springer, 1999.
3. *Dowling J.P.* Correlated input-port, matter wave interferometer: quantum noise limits to the atom-laser gyroscope. *Phys. Rev. A*, 57, 1998, June, № 6. P. 4736–4746.
4. *Манин Ю.И.* Вычислимое и невычислимое. М., 1980. С. 128.
5. *Feinman R.* *Inter // Jour, theor. Phys.* 1982. V. 21. № 6/7. P. 467–488.
6. *Nielsen M.A., Chuang I.L.* Quantum computation and Quantum Information. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2000.
7. *Bouwmeester D., Ekert A., Zeilinger A.* The physics of quantum information. Springer, 2000.
8. *Валиев К.А., Кокин А.А.* Квантовые компьютеры: надежды и реальность. М. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2002.
9. *Валиев К.А.* Квантовая информатика: компьютеры, связь и криптография // *Вестник РАН*. 2000. № 8. С. 688–705.
10. *Steane A.M.* Overhead and noise threshold of fault-tolerant quantum error correction. *arxiv: quant-ph/0207119 v. 1*, 19 Jul. 2002.

ОРГАНИЧЕСКИЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ, НАНОСТРУКТУРЫ И НАНОДИАГНОСТИКА

Член-корреспондент РАН М.В. Ковальчук

Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, который я представляю и которому в 2003 г. исполняется 60 лет, известен своими фундаментальными работами в области синтеза различных кристаллических материалов и их комплексов, исследованиями их структуры и свойств. При этом особое место занимало и занимает изучение наноматериалов и нанообъектов. Среди них в первую очередь можно назвать тонкие эпитаксиальные слои и пленки, мембранные структуры, острийные кристаллы, различные нанокристаллы и целый комплекс органических материалов, включая ленточные пленки, жидкие кристаллы, биоорганические кристаллы и материалы. Для получения наноматериалов и наносистем на их основе используется атомарное и молекулярное конструирование (методы “атомно-молекулярной архитектуры”).

Одновременно развиваются адекватные новым технологиям методы атомарной диагностики, которые позволяют контролировать структурное состояние создаваемых материалов. Ключевая роль в диагностике материалов всегда принадлежала рентгеновским методам. Физическое материаловедение как наука возникло после двух величайших открытий: рентгеновского излучения в 1895 г. и дифракции рентгеновских лучей на кристаллических материалах в 1912 г., позволивших “увидеть” трехмерное атомное строение материалов, прежде всего кристаллических, исследовать происходящие в нем процессы, а также разработать пути целенаправленного влияния на изменение строения и свойств материалов.

Сегодня рентгеновская физика переживает второе рождение благодаря созданию специализированных источников синхротронного излучения. Они генерируют электромагнитное излучение, обладающее уникальными свойствами: непрерывным спектром от инфракрасного до γ -излучения; высокой степенью естественной коллимации; возможностью использования периодической последовательности ультракоротких рентгеновских импульсов длительностью в несколько десятков пикосекунд; определенным состоянием поляризации; яркостью излучения, на 8–10 порядков превосходящей яркость существующих лабораторных рентгеновских трубок. Успехи рентгеновских дифракционных исследований, подкрепленные уникальными свойствами синхротронного излучения, дают основание назвать сегодняшнее время ренессансом рентгеновской физики.

Сотрудники Института кристаллографии внесли общепризнанный вклад в развитие рентгеновских методов изучения структуры кристаллов и различных материалов. К настоящему времени здесь накоплен огромный опыт в постановке и проведении исследований с использованием синхротронного излучения. Именно поэтому на меня возложено также руководство работами в Курчатовском центре синхротронного излучения РНЦ “Курчатовский институт”. Главная цель этой деятельности – сделать реальной возможность практического использования синхротронного излучения российскими организациями, в первую очередь институтами РАН.

Современное материаловедение – многоплановая область знаний, которой в нашей академии всегда уделялось особое внимание. На современном этапе развития науки и технологий очень важно одновременно с сохранением большинства существующих и востребованных материаловедческих направлений развивать принципиально новые идеи и направления, прежде всего связанные с созданием наноматериалов различной природы и наносистем на их основе.

Развитие науки в XX в. шло в основном по пути от сложного к простому, или по пути анализа, на котором последовательно были открыты молекулы, атомы, затем – ядра и элементарные частицы. Одним из результатов явилось понимание того, как природа устроила вещество на уровне атомов и молекул. При этом произошло сближение физики, химии, минералогии и биологии. Но уже с середины века началось движение по второму пути – от простого к сложному, то есть по пути синтеза. Соединяя определенным образом отдельные атомы и молекулы, стало возможным получать целый набор искусственно синтезированных неорганических и органических веществ, например кристаллов, полимеров и даже белковых молекул.

Расшифровка атомно-молекулярного строения веществ заложила основу технологий нового времени. По всем прогнозам, XXI век будет временем атомарного конструирования различных материалов с заданными свойствами. При этом особо важными становятся исследования, проводимые “на стыке” наук, которые позволяют объединять усилия и интеллектуальный потенциал ученых разных специальностей, стимулируя развитие науки в целом. Фактически междисциплинарный подход можно считать методологией развития науки на рубеже веков.

Один из ярких примеров такого подхода – кристаллография, которая по сути своей междисциплинарна (см., например [1]). Она родилась из минералогии, начавшись с изучения материалов чисто описательными способами, затем вобрала в себя достижения химии, когда науку заинтересовал химический состав минералов, и, наконец, пополнившись физическими методами исследования (в первую очередь рентгеноструктурным анализом), превратилась также в область физики. Сегодня кристаллография активно вторгается в биологию, что прежде всего связано с уникальными возможностями рентгеноструктурных исследований.

В последнее время в связи с большими успехами в области молекулярной биологии, биоинженерии, рентгеноструктурного анализа биологических объектов появилась перспектива создания новых приборов и систем на основе биоорганических веществ. Задача состоит в том, чтобы научиться встраивать биоорганические молекулы в различные структуры в качестве элементов для восприятия изображений, звуковых и химических сигналов (биосенсоры), преобразования сигналов для использования в информатике (биокомпьютеры) и многих других целей.

Для решения такой задачи необходимо развитие биоорганического материаловедения, адаптация хорошо развитых твердотельных технологий к работе с биоорганическими материалами. Напомним, что физическое материаловедение как самостоятельное научное направление возникло в результате использования физических методов исследования и современного математического аппарата в конкретной области знаний. На начальном

этапе это было физическое металловедение, затем полупроводниковое материаловедение, а сегодня бурно рождается новая область биологического материаловедения, основанная на сочетании математических подходов и физических методов с достижениями молекулярной биологии, биоинженерии и биотехнологии.

Логика развития полупроводникового материаловедения, например, такова: от объемных трехмерных кристаллов, тонких слоев, многослойных структур – к наноструктурам на основе квантовых ям и квантовых точек, затем к созданию принципиально новых технологий атомарного конструирования неорганических полупроводниковых материалов – молекулярно-лучевой эпитаксии и использованию принципов самоорганизации. Фактически полупроводниковое материаловедение и твердотельная электроника, пройдя долгий и сложный путь, пришли к необходимости целенаправленного манипулирования отдельными атомами, использованию принципов самоорганизации и созданию атомарных нанотехнологий, то есть к тому, что естественным образом присуще и давно существует для биоорганических систем и материалов.

Например, так называемая техника Ленгмюра–Блоджетт, являясь аналогом молекулярно-лучевой эпитаксии, позволяет создавать двумерные и многослойные системы и сверхрешетки на базе органических и биологических молекул и их сочетания. Практически с использованием этой техники можно целенаправленно, под контролем создавать наноразмерные органические и биоорганические системы на твердых подложках, тем самым открывая принципиально новые возможности для создания нанобиоорганических материалов, нанобиотехнологий и систем на их основе. В Институте кристаллографии РАН с использованием вышеупомянутого метода Ленгмюра–Блоджетт были получены сверхтонкие (~1 нм) пленки из сополимера винилиден-фторида с трифторэтиленом (ПВДФ. ТрФЭ), в которых впервые обнаружено явление двумерного сегнетоэлектричества [2]. Подобного рода структуры открывают возможность разработки элементов памяти на органических монослоях (рис. 1).

Конструирование новых материалов, совершенствование их структуры и свойств, создание наноматериалов и наносистем на основе молекулярной архитектуры неразрывно связано с применением адекватных (атомного разрешения) диагностических средств. Исторически в основе любой диагностики лежало использование прежде всего электромагнитного излучения, начиная с видимого света и кончая жестким рентгеновским излучением. К этому добавились методы, основанные на рассеянии различных частиц: электронов, нейтронов, ионов и др. На смену обычной, а затем электронной микроскопии пришли методы с атомарным разрешением, такие как атомно-силовая микроскопия и электронная микроскопия атомного разрешения.

На рис. 2, где приведено изображение острой наноструктуры на основе кремния, а также отдельного острия [3], можно четко видеть, что вершина острия состоит всего лишь из нескольких атомов кремния. Эти наноструктуры можно использовать при разработке принципиально новых экранов для дисплеев и телевизоров, они уже выступают в качестве кантилеверов для зондовой микроскопии и различных эмиттеров.

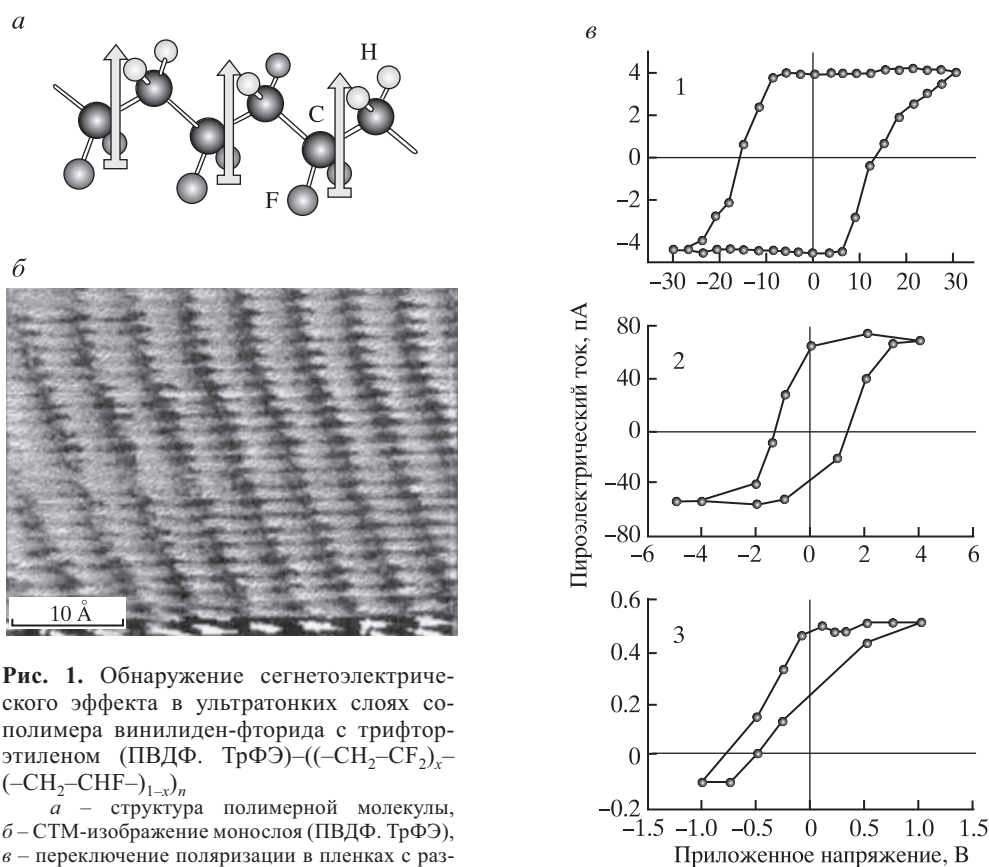


Рис. 1. Обнаружение сегнетоэлектрического эффекта в ультратонких слоях сополимера винилиден-фторида с трифторэтиленом (ПВДФ. ТрФЭ) $-((\text{CH}_2-\text{CF}_2)_x-(\text{CH}_2-\text{CHF}-))_{1-x}$
a – структура полимерной молекулы,
б – СТМ-изображение монослоя (ПВДФ. ТрФЭ),
в – переключение поляризации в пленках с разным числом монослоев: 1 – 30, 2 – 5, 3 – 2

Как уже говорилось, рентгеновские методы сыграли ключевую роль в развитии современной науки о материалах. Однако применение рентгеновского излучения для анализа наноматериалов и наноструктур связано с решением ряда сложных задач в области физики рассеяния рентгеновских лучей. Во-первых, говоря о наноструктурах и наноматериалах, мы всегда имеем в виду либо системы с малым числом атомов, рассеивающих рентгеновское излучение, либо поверхность, рентгеновский сигнал от которой трудно выделить на фоне сильного рассеяния объемом исследуемого объекта. Во-вторых, выделив это слабое рентгеновское рассеяние от поверхности или наносистемы, необходимо измерить его с достаточной точностью. И, наконец, важнейшая принципиальная задача физики рассеяния рентгеновского излучения заключается в сочетании возможностей дифракции и спектроскопии.

Напомним, что спектроскопические методы основаны на измерении различных вторичных (неупругих) излучений – отклика кристалла на поглощение части падающего рентгеновского излучения. Регистрация вторичных излучений (флуоресценция, фото- и оже-электроны и др.), имеющих малую (по сравнению с длиной экстинкции) глубину выхода, позволяет анализировать состав поверхности и нанобъемов, например, определять концент-

рацию атомов различного сорта. Вместе с тем спектроскопические методы не дают ответа на вопрос о пространственном (структурном) расположении атомов. В то же время рентгено-дифракционные методы, давая информацию о пространственном расположении атомов, оставляют без ответа вопрос о типе атомов, входящих в состав изучаемого объекта.

Все сформулированные выше проблемы были решены в процессе создания нового рентгеновского метода: структурно-чувствительной спектроскопии поверхности конденсированных сред и наноструктур с помощью стоячих рентгеновских волн. Определяющий вклад в его создание внесли сотрудники Института кристаллографии РАН (см., например, [4–12]).

Физическая сущность метода стоячих рентгеновских волн достаточно проста: при падении плоской рентгеновской волны на совершенный кристалл под углом Брэгга формируется сильная дифрагированная волна. Когерентная суперпозиция падающей и дифрагированной волн образует стоячую рентгеновскую волну с периодом, равным межплоскостному расстоянию. Фактически в кристалле и над его поверхностью образуется “масштабная линейка” с ценой деления в несколько ангстрем, соответствующей межплоскостному расстоянию (рис. 3).

Изменение угла падения рентгеновского пучка на кристалл сопровождается перемещением стоячей волны относительно неподвижных атомных плоскостей в направлении, перпендикулярном плоскостям. Это приводит к изменению интенсивности поля стоячей волны на атомных плоскостях, что, в свою очередь, ведет к модуляции интенсивности выхода любого вторичного излучения. Практически регистрация вторичных излучений в условиях дифракции (метод стоячих рентгеновских волн) позволяет определять пространственное (структурное) положение атомов определенного сорта в наноматериалах и наноструктурах различной природы.

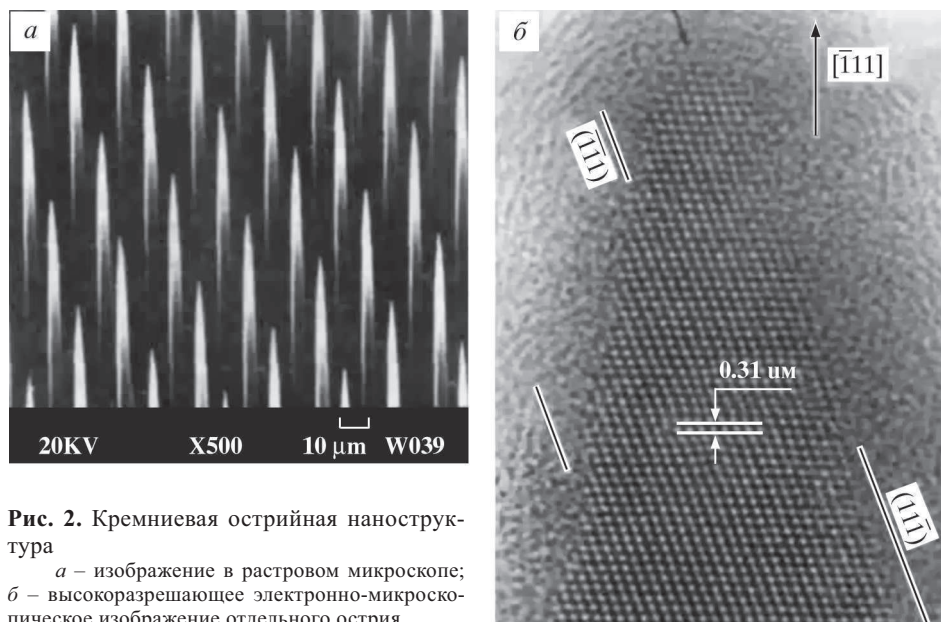


Рис. 2. Кремниевая острейшая наноструктура

а – изображение в растровом микроскопе;
б – высокоразрешающее электронно-микроскопическое изображение отдельного острия

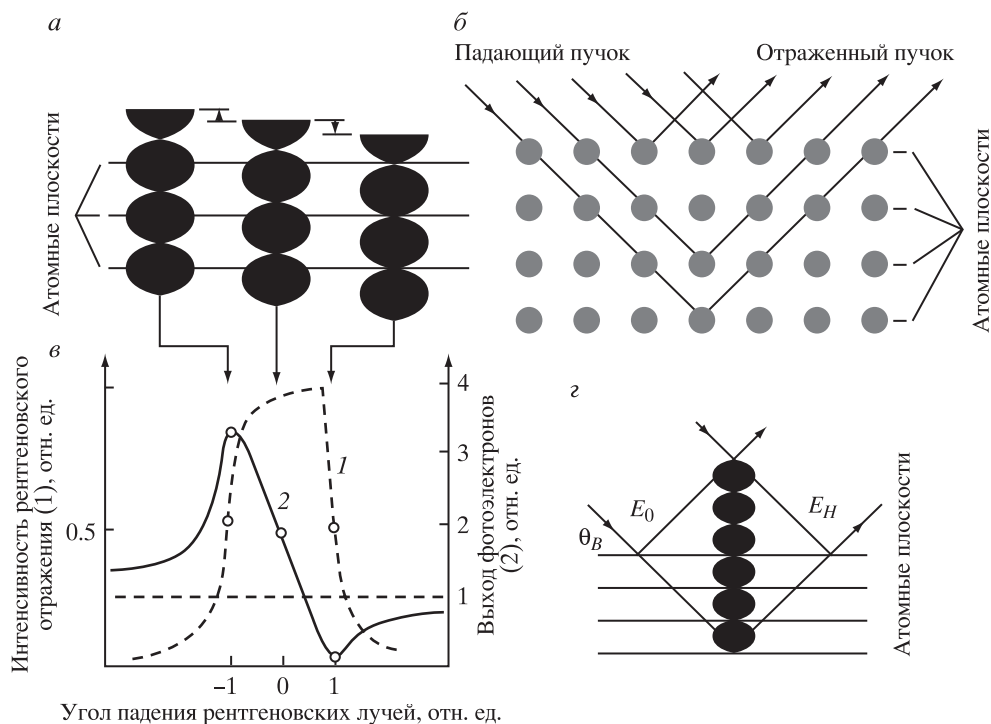


Рис. 3. Формирование стоячей рентгеновской волны в кристалле в условиях двухволновой дифракции и ее движение относительно атомных плоскостей

а, б – взаимные положения стоячей волны и атомных плоскостей, соответствующие разным углам падения рентгеновского излучения на кристалл внутри области отражения; *в* – зависимости выхода вторичного излучения и интенсивности отражения рентгеновского излучения от его угла падения на поверхность вблизи дифракционного угла Брэгга; *з* – стоячая волна в кристалле и над его поверхностью (E_0 и E_H – амплитуда падающей и отраженной волн соответственно)

На рис. 4 в первом эксперименте наглядно продемонстрирована возможность использования стоячей рентгеновской волны с целью определить распределение атомов определенного сорта (в данном случае – свинца) в органической наноструктуре, состоящей из восьми ленгмюровских монослоев на твердой (кремниевой) подложке. Показано, что атомы свинца проникают в каждый монослой изучаемой наноструктуры. Во втором эксперименте, регистрируя флуоресцентное излучение, возбуждаемое стоячей рентгеновской волной, впервые удалось определить пространственное положение одного органического монослоя на поверхности жидкости.

Перспективы развития и применения новых рентгеновских методов диагностики наноструктур связаны с использованием обладающего уникальными свойствами синхротронного излучения. Сегодня ситуация в этой области в нашей стране существенно изменилась в связи с вводом в эксплуатацию первого в России специализированного источника синхротронного излучения в РНЦ “Курчатовский институт”, разработанного в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (энергия электронов 2.5 ГэВ, ток 100 мА).

В Институте кристаллографии РАН совместно с РНЦ “Курчатовский институт” и рядом академических институтов в последние годы был разра-

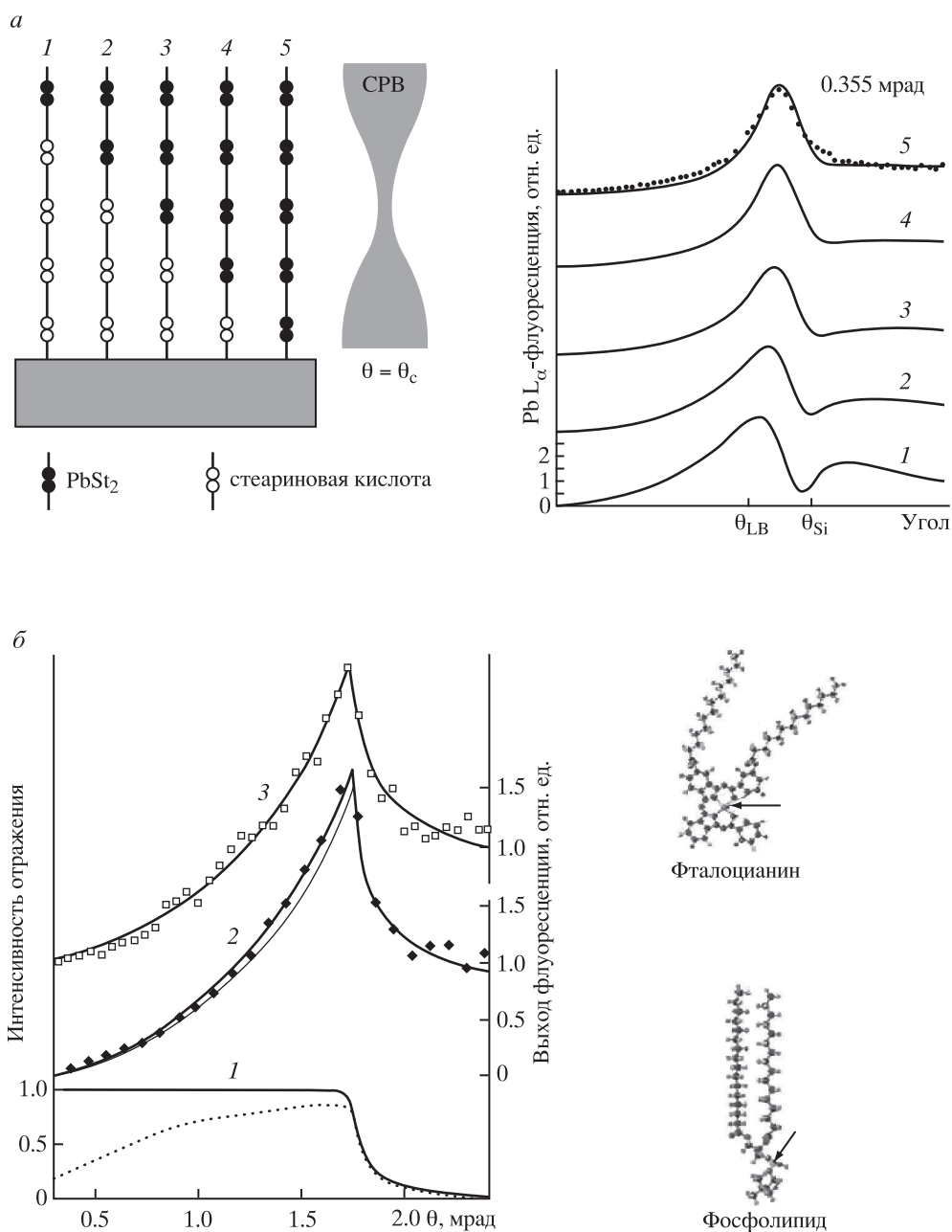


Рис. 4. Экспериментальные результаты при локализации атомов на твердой подложке и на поверхности раздела воздух–жидкость

a – экспериментальная и расчетные угловые зависимости выхода PbL_α -флуоресценции от пленки Ленгмюра–Блоджетт (8 монослоев стеариновой кислоты на Si-подложке). Угловые зависимости выхода флуоресценции рассчитаны для различных распределений ионов свинца: 1 – ионы свинца содержатся в одном верхнем периоде пленки, 2 – ионы свинца содержатся в двух верхних периодах пленки, 3 – ионы свинца содержатся в трех верхних периодах пленки и т.д.; *б* – экспериментальные и расчетные угловые зависимости выхода флуоресценции от ленгмюровских пленок на поверхности жидкой субфазы: 1 – рентгеновское отражение; 2 – угловая зависимость интенсивности SnK_α -флуоресценции от монослоя фталоцианина олова; 3 – угловая зависимость интенсивности PbK_α -флуоресценции от монослоя фосфолипида

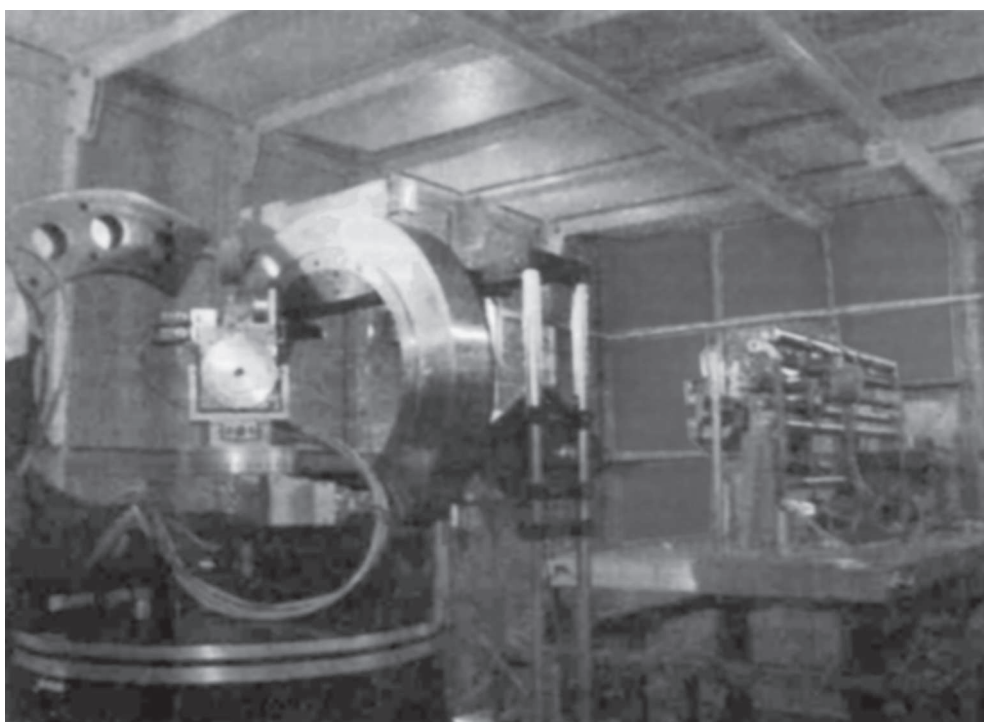
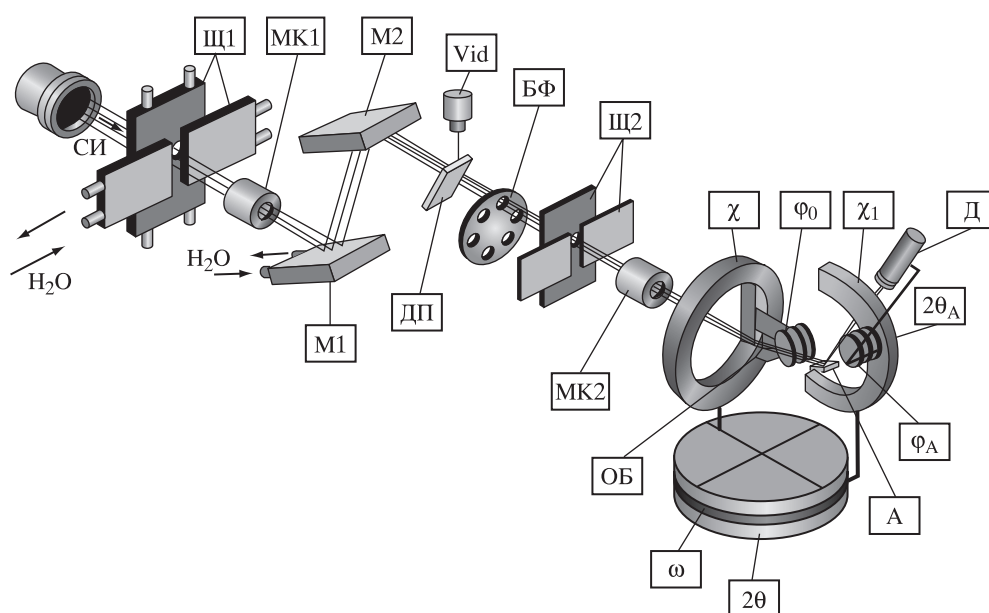


Рис. 5. Рентгенооптическая схема и общий вид станции прецизионной рентгеновской оптики
 Щ1, Щ2 – щелевые диафрагмы; М1, М2 – кристаллы-монокроматоры; ДП – датчик положения пучка; МК1, МК2 – мониторные камеры; БФ – блок фильтров; ОБ – образец; А – кристалл-анализатор; Д – детектор сцинтилляционный; ω , 2θ , ϕ и χ – оси многокружного гониометра

ботан и создан комплекс экспериментального оборудования для проведения исследований на источнике синхротронного излучения. Станция прецизионной рентгеновской оптики (рис. 5) предназначена для проведения описанных выше экспериментов и представляет собой комплекс уникального оборудования, созданного российскими учеными и инженерами. Она соответствует мировому уровню и включает в себя двухкристальный монохроматор, многокружный гониометр, элементы вакуумного канала, блоки формирования пучка и юстировки объектов.

Наряду с обсуждаемыми здесь исследованиями на курчатовском источнике синхротронного излучения разворачиваются многоплановые исследования в области микро- и нанотехнологий, материаловедения и др. Для этого построена целая серия станций на пучках синхротронного излучения: станции глубокой рентгеновской литографии, рентгеновской кристаллографии и физического материаловедения, белковой кристаллографии, EXAFS-спектроскопии, медицинской диагностики, фотоэлектронной спектроскопии, оптических исследований в области вакуумного ультрафиолета и др. [13,14].

Развитая экспериментальная база для реализации методов молекулярной архитектуры в органическом материаловедении, высокий уровень рентгеновских и синхротронных исследований, общепризнанные достижения в диагностике наноразмерных систем позволяют утверждать, что органические наноматериалы и наносистемы, являясь одним из главных направлений современной науки, станут основой многих новых технологий XXI в.

Литература

1. Ковальчук М.В. Кристаллография на рубеже веков: итоги и перспективы // Кристаллография. 1999. Т. 44. № 6.
2. Bune A.V., Fridkin V.M., Ducharme S. e. a. Two-dimensional ferroelectric films // Nature. 1998. V. 391.
3. Kiselev N.A., Hutchison J.L., Stepanova A.N. e. a. HREM of Nanometric Tips Prepared from Epitaxially Grown Silicon Whiskers // Micron. 1997. V. 28. № 1.
4. Ковальчук М.В., Кон В.Г. Рентгеновские стоячие волны – новый метод исследования структуры кристаллов // Успехи физ. наук. 1986. Т. 149. Вып. 1.
5. Вартаньянц И.А., Ковальчук М.В., Кон В.Г. и др. Прямое определение фазы амплитуды отражения с помощью стоячих рентгеновских волн // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. Вып. 11.
6. Zheludeva S.I., Kovalchuk M.V., Novikova N.N. e. a. X-ray total external reflection fluorescence study of L–B films on solid substrate // J. Phys. D.: Appl. Phys. 1993. N 26.
7. Kovalchuk M.V., Kazimirov A.Yu., Zheludeva S.I. Surface-sensitive X-ray diffraction methods: physics, applications and related X-ray and SR instrumentation // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1995. V. 101.
8. Zheludeva S.I., Kovalchuk M.V., Novikova N.N. Total reflection X-ray fluorescence study of organic nanostructures // Spectrochim. Acta. 2001. B56.
9. Zheludeva S.I., Novikova N.N., Konovalov O.V. e.a. Characterization of Langmuir monolayers on water surface by X-ray total reflection fluorescence study // SAS2002 XII International Conference on Small-Angle Scattering.
10. Bedzyk M.J., Materlik G., Kovalchuk M.V. X-ray-standing-wave-modulated electron emission near absorption edges in centrosymmetric crystals // Physical Review B. 1984. V. 30. № 5.
11. Vartanyants I.A., Kovalchuk M.V. Theory and applications of X-ray standing waves in real crystals // Rep. Prog. Phys. 2001. V. 64.
12. Афанасьев А.М., Ковальчук М.В., Чуев М.А., Медведев П.Г. Линии Косселя как новый тип источника рентгеновского излучения // Письма в ЖЭТФ. 2002. Т. 122. Вып. 3.

13. Арутюнян Э.Г., Ковальчук М.В., Хейкер Д.М. и др. Станция белковой кристаллографии на источнике синхротронного излучения “Сибирь-2” // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 1999. № 12.
14. Kovalchuk M.V., Shilin Yu.N., Zheludeva S.I. et al. X-ray instrumentation for SR beamlines // Nuclear Instr. and Methods in Physics Research. A. 2000. V. 488.

БИОЧИПЫ В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ XXI ВЕКА

Академик А.Д. Мирзабеков

Биологические микрочипы являются одним из наиболее быстро развивающихся экспериментальных направлений современной биологии. Существует два основных типа биочипов [1]. Первый тип, рассматриваемый в настоящей статье, – это микроматрицы различных соединений, главным образом биополимеров, иммобилизованных на поверхности стекла, в микрокаплях геля, в микрокапиллярах. Другим типом биочипов являются миниатюризованные “микролаборатории”. Эффективность биочипов обусловлена возможностью параллельного проведения огромного количества специфических реакций и взаимодействий молекул биополимеров, таких как ДНК, белки, полисахариды, друг с другом и низкомолекулярными лигандами. Удастся в достаточно простых параллельных экспериментах собрать и обработать на отдельных элементах биочипа огромное количество биологической информации. В этом заключается фундаментальное информационное сходство биочипов с электронными микрочипами. Однако между ними имеется и ряд принципиальных различий.

На рис. 1 показан принцип действия ячейки ДНК или олигонуклеотидного биочипа, основанный на комплементарных взаимодействиях основания аденина (А) с тиминам (Т) и гуанина (Г) с цитозином (С) в двух нитях ДНК. Если последовательность оснований в одной нити ДНК (или олигонуклеотида) полностью комплементарна последовательности другой нити, то образуется стабильная совершенная двухнитчатая спираль – дуплекс. Однако присутствие в дуплексе даже одной неправильной пары, например G–G, предотвращает образование дуплекса. Если иммобилизовать в одном из элементов микрочипа специфическую одноцепочечную ДНК или, положим, 20-мерный олигонуклеотид (пробу), то при добавлении к микрочипу меченных флюоресцентными красителями фрагментов ДНК, например генома человека, будет происходить их высокоспецифичное взаимодействие. Заданный олигонуклеотидный элемент биочипа специфически свяжет только одну комплементарную последовательность из $4^{20} = 1.09 \times 10^{12}$ всех возможных последовательностей этой длины в ДНК. В результате флюоресцентное свечение наблюдается только на этом комплементарном элементе биочипа. Таким образом, один элемент биочипа производит одну выборку примерно из триллиона возможных вариантов, в отличие от элемента электронного чипа, где происходит двоичная выборка: ДА или НЕТ.

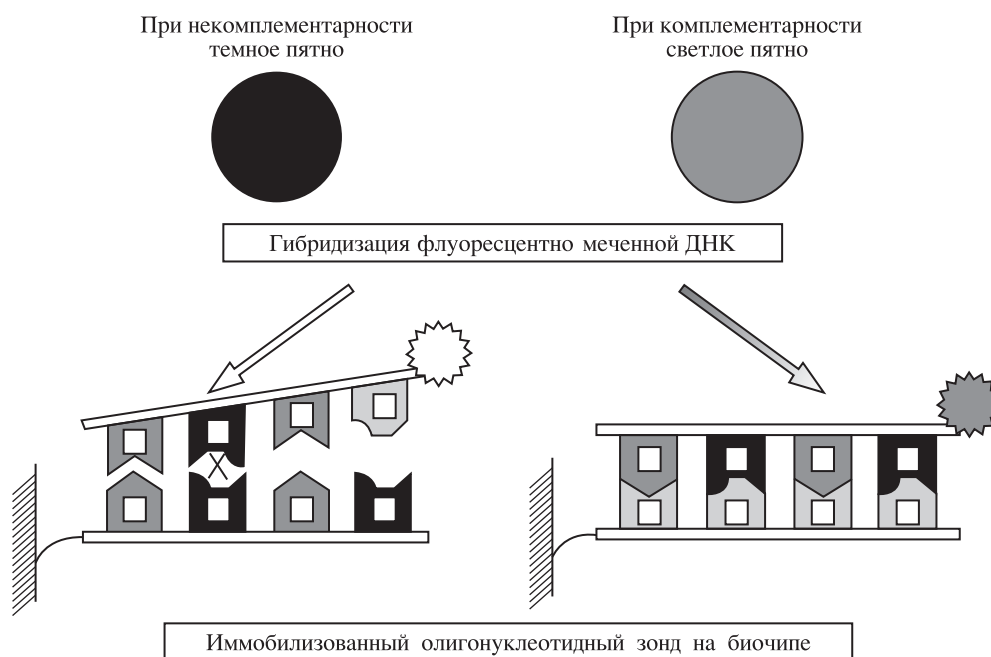
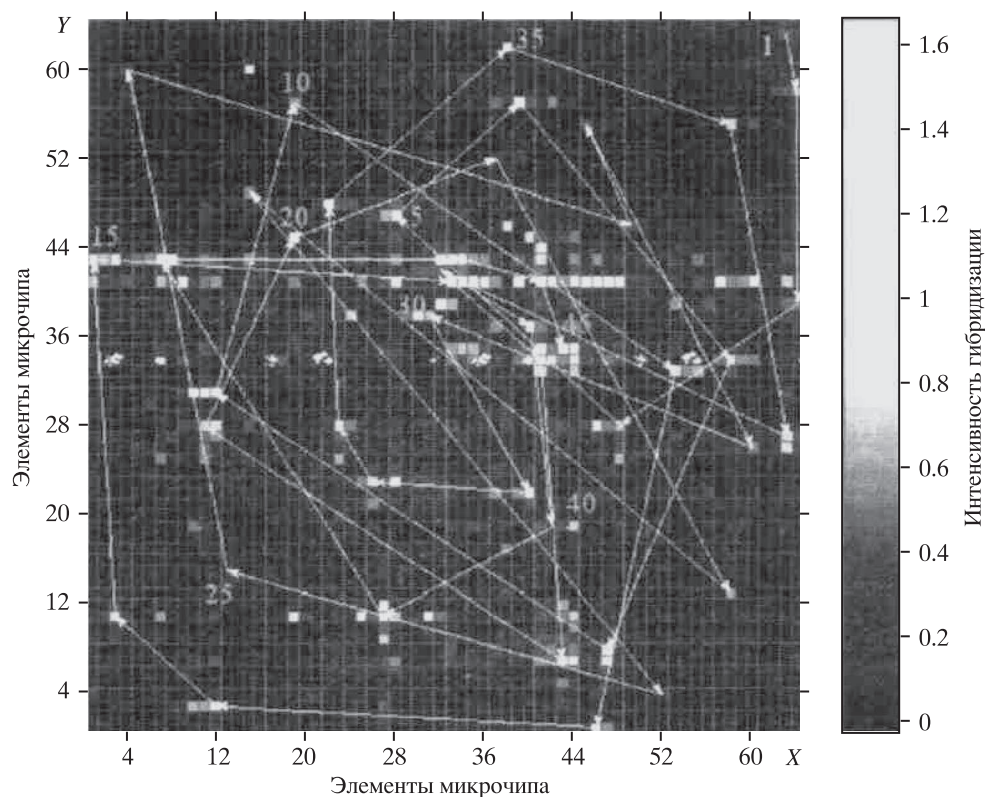


Рис. 1. Схема образования двойной спирали ДНК на биочипе

Олигонуклеотид фиксирован на одном из элементов биочипа и избирательно связывает из многих флуоресцентно меченных фрагментов ДНК только комплементарный. В результате только этот элемент начинает светиться. Это происходит благодаря высокоспецифичным взаимодействиям комплементарных пар нуклеотидов А с Т и Г с С. Присутствие некомплементарной пары, например G–G, предотвращает взаимодействие и оставляет элемент микрочипа темным

Стремительное развитие биологии во второй половине прошлого века тесно связано с появлением молекулярной и клеточной биологии, которая основана на концепции о редукционизме – сводимости сложных биологических процессов к процессам, протекающим на уровне отдельных молекул биополимеров, прежде всего белков и нуклеиновых кислот и их различных клеточных комплексов и структур. Редукционизму противопоставлялась концепция интегратизма о необходимости комплексного изучения структуры и функционирования в клетке всей совокупности макромолекул. В последние годы появились такие новые интегративные подходы, как геномика, протеомика и селломика, развиваемые большими коллективами или часто целыми “научными фабриками”. Эти направления позволяют устанавливать структуру и изучать процессы на уровне генов всего генома, белков всей клетки или клеток всей ткани. Развиваемые в последние годы биологические микрочипы позволяют реализовать в доступной форме весьма сложные интегративные подходы геномики, протеомики и селломики. Например, олигонуклеотидные и ДНКовые микрочипы, выпускаемые рядом фирм, позволяют в достаточно простых, доступных отдельным исследователям экспериментах изучать экспрессию большинства генов различных бактерий и многих генов человека. На очереди создание белковых чипов, содержащих большое количество иммобилизованных клеточных белков или специфичных к ним антител.



```

GAAAAGCGAGTCAGTTTGGGTCGATATTAGACGCCCCGAACGGCTGGGGTG
1gaaaag 10gtcagt 19gggtcga 28tagacg 37gaacgg
2aaaagc 11tcagtt 20gtcgat 29agacgc 38aacggc
3aaagcg 12cagttt 21tcgata 30gacgcc 39fcggct
4aagcga 13agtttg 22cgatat 31acgccc 40cggctg
5agcgag 14gtttgg 23gatatt 32cgcccg 41ggctgg
6gcgagt 15tttggg 24atatta 33gcccga 42gctggg
7cgagtc 16ttgggt 25tattag 34cccgaa 43ctgggg
8gagtca 17tgggtc 26attaga 35ccgaac 44tggggg
9agtcag 18gggtcg 27ttagac 36cgaacg 45gggggtg

```

Рис. 2. Секвенирование фрагмента ДНК гибридизацией с полным олигонуклеотидным микрочипом, содержащим все 4096 6-меров

6-меры микрочипа, образующие при гибридизации с флуоресцентно меченным фрагментом ДНК совершенные дуплексы, интенсивно светятся. Такие соседствующие 6-меры перекрываются на пять нуклеотидов; это перекрывание позволяет однозначно восстановить нуклеотидную последовательность ДНК

Макроматрицы ДНК и белков, иммобилизованных на фильтре, или фиксированных в лунках планшетов, были известны достаточно давно. Однако первая работа по ДНК-микрочипам [2] и одна из первых по белковым микрочипам [3] в современном формате были опубликованы нашей лабораторией в Институте молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН (ИМБ). Этот

принципиальный скачок был предложен для использования в новом методе секвенирования ДНК гибридизацией. В 1968 г. Советский Союз, а вслед за ним США и другие страны приняли государственные программы установления полной последовательности всех 3 миллиардов нуклеотидов генома человека. Широко дискутировался вопрос, должна ли эта задача решаться масштабированием существующих подходов или должны быть разработаны новые, более эффективные методы. В связи с временными ограничениями, ученые пошли по пути существенного улучшения и гигантского масштабирования уже существующего метода, основанного на считывании одного нуклеотида за другим с конца коротких фрагментов ДНК. Этот метод в химическом и ферментативном варианте был предложен В. Гилбертом и Ф. Сенгером, которые и разделили Нобелевскую премию за 1967 г. В развитии химического метода большую роль сыграли академики Е.Д. Свердлов и А.Д. Мирзабеков. В своей Нобелевской речи В. Гилберт отметил, что “идея метода пришла только после второго визита А. Мирзабекова” в его лабораторию [4].

В поисках новых подходов к секвенированию ДНК нами, а также независимо двумя другими группами в Англии и Сербии было предложено в 1988 г. секвенирование гибридизацией [5]. В этом методе секвенирование проводится не отдельными нуклеотидами, а словами в составе полного “словаря” нуклеотидных слов определенной величины. Такой словарь может содержать все возможные 4096 гексануклеотидов, т.е. шестибуквенных генетических слов. Для нас стала очевидной необходимость создания микрочипов, и в следующем году появилась первая статья, описывающая приготовление и свойства предложенных нами гелевых микрочипов [2]. Позднее нами были созданы полные микрочипные гексануклеотидные словари. С этого момента и по настоящее время наша группа сконцентрировалась на развитии биочипов: создании ДНКовых, белковых и клеточных биочипов, на развитии технологий их производства и на их применении в фундаментальных исследованиях и их различных приложениях в медицине, биотехнологии и др. областях. Эти исследования рассмотрены в обзорной работе [6].

Рис. 2 показывает такой полный 6-мерный олигонуклеотидный микрочип и секвенирование на нем 50-нуклеотидного фрагмента ДНК [7]. Для приведенного случая идентификация всех 6-меров, комплементарных к ДНК, и перекрытие соседних 6-меров на пять нуклеотидов позволяет восстановить полную нуклеотидную последовательность ДНК. В действительности метод в данном варианте работает только в части случаев, его широкому применению должно предшествовать решение ряда экспериментальных проблем, которые будут рассмотрены далее.

ГЕЛЕВЫЕ БИОЧИПЫ, ИХ СВОЙСТВА, ПРОИЗВОДСТВО И АНАЛИЗ

Своеобразием и отличием развиваемых нами биочипов является то, что они представляют собой полусферические капли гидрогеля, фиксированные химической связью на поверхности стекла, пластика или силикона (рис. 3). Различные биомолекулы равномерно распределяются и иммобилизуются химическими связями в объеме геля. Иммобилизация не на двумерной поверх-

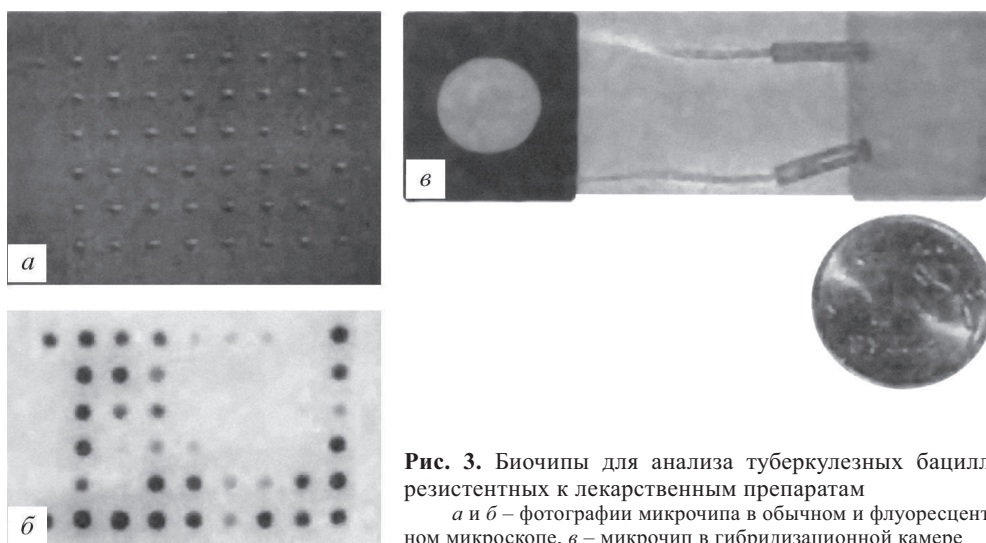


Рис. 3. Биочипы для анализа туберкулезных бацилл, резистентных к лекарственным препаратам
а и б – фотографии микрочипа в обычном и флуоресцентном микроскопе, *в* – микрочип в гибридационной камере

ности, а в трехмерном объеме геля дает ряд существенных преимуществ. В десятки и сотни раз увеличивается емкость биочипа на единицу поверхности и соответственно увеличивается чувствительность измерений. Имобилизованные макромолекулы как бы фиксированы в гомогенной водной среде, составляющей около 95% объема геля. Это исключает их взаимодействие как друг с другом, так и с твердой поверхностью, где гетерофазные процессы с участием фиксированных на ней биомолекул протекают более сложным образом. Это особенно существенно для белковых чипов, поскольку молекулы белков имеют тенденцию денатурации в интерфазе, образованной между твердой поверхностью и водной средой. Наконец, гелевые элементы на воздухе или под маслом превращаются как бы в изолированные микро- и нанолитровые пробирки, в каждой из которых можно проводить индивидуально различные специфические взаимодействия, химические и ферментативные реакции. Благодаря этому гелевые биочипы объединяют в себе свойства и микроматриц и микролабораторий.

Следует отметить, что решение развивать гелевые биочипы было подготовлено нашей совместной работой 35-летней давности с Л.С. Сандахчиевым, ныне академиком РАН, предложившим фиксировать нуклеиновые кислоты в гидрогелях и проводить в них химические реакции для получения высокоочищенной индивидуальной низкомолекулярной тРНК. Наша технология производства гелевых биочипов прошла три этапа развития. Громоздкая и малоэффективная технология первого поколения состояла из пяти стадий и была разработана и запатентована в ИМБ в 1989–1993 гг. Она была перенесена в совместную биочипную лабораторию, организованную ИМБ и Аргонской национальной лабораторией (АНЛ, США) в 1994–2000 гг. и стала технологией первого поколения, была лицензирована американскими фирмами “Мотороллой” и “Пакардом”. Однако из-за ее несовершенства фирмы стали производить биочипы не как микроматрицы гелевых элементов, а как сплошную поверхность полиакриламидного геля. В ИМБ за последние три года разработаны технологии производства биочипов второго

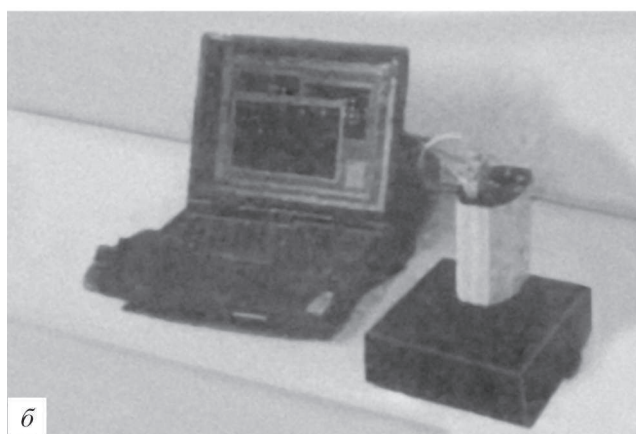
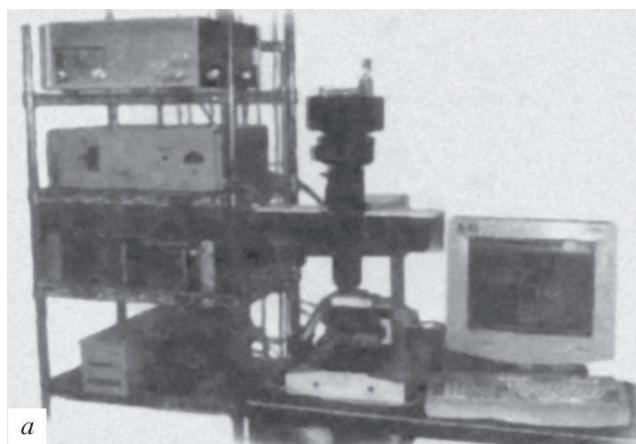


Рис. 4. Флуоресцентные анализаторы микрочипов для исследований (а) и для клиник (б)

и третьего поколения. Технология второго поколения состоит из трех этапов: модификация иммобилизуемых биополимеров мономерными группами геля, нанесение раствора этих веществ в смеси с мономерными звеньями геля с помощью игольчатого или пьезоэлектрического робота и, наконец, фотоиндуцированная сополимеризация свободных и связанных с биополимерами молекул мономера [8]. Это приводит к равномерной иммобилизации веществ во всем объеме геля. В еще более простой двухэтапной технологии третьего поколения первая и третья стадии получения биочипов объединены с помощью своеобразной химической реакции.

Достаточно простая, универсальная и дешевая технология третьего поколения позволяет производить даже в лабораторных условиях сотни и в скором будущем тысячи олигонуклеотидных, ДНКовых или белковых микрочипов в день. Разработан также метод получения сополимеризацией микрочипов с размерами гелевых микрочастиц до $5 \times 5 \times 5$ мкм. Биочипы (рис. 3) содержат от десятков до нескольких тысяч гелевых элементов с иммобилизованными в них соединениями. Элементы микрочипа представляют собой гидрогелевые

полусферы (диаметром около 100 мкм), находящиеся на расстоянии 250 мкм друг от друга на гидрофобизованной поверхности стекла. Одноцепочечные ДНК длиной до 200–300 нуклеотидов и белки с массой до 150 кД легко и достаточно быстро диффундируют в гидрогелевые элементы микрочипов специально разработанного состава. Сам биочип помещен в реакционную камеру с капиллярным входом и выходом, в которой можно проводить различные процессы в строго контролируемых условиях.

АНАЛИЗ БИОЧИПОВ

Регистрация происходящих на биочипах процессов осуществляется с помощью флуоресцентных, а также в некоторых случаях хемилюминесцентных и масс-спектрометрических методов. Для количественного флуоресцентного анализа нами были разработаны совместно с РНЦ “Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова” флуоресцентные широкопольные высокоапертурные микроскопы, снабженные ПЗС-камерой и компьютером [9]. Прибор (рис. 4) позволяет проводить в реакционной камере количественный анализ в реальном времени сразу всех элементов биочипа в автоматическом режиме, одновременно при четырех длинах волн, при заданной или меняющейся температуре. Более 20 таких достаточно дорогих исследовательских анализаторов биочипов поставлены в лаборатории России и США. Для клиник нами разработан более простой и дешевый лазерный анализатор (рис. 4). Он позволяет проводить количественную регистрацию флуоресценции одновременно со всего биочипа с помощью более простой ПЗС-камеры и обрабатывать результаты на прилагаемом портативном компьютере с помощью специально созданных программ.

Хемилюминесцентные методы, хотя и уступают по чувствительности люминесцентным, позволяют значительно упростить и удешевить регистрирующую аппаратуру. Кроме того, разработан специальный метод прямого анализа соединений непосредственно в гелевых элементах с помощью MALDI-TOF масс-спектрометрии. Этот важный в протеомике метод позволяет проводить дополнительную идентификацию взаимодействующих с биочипами соединений по их массе.

ОЛИГОНУКЛЕОТИДНЫЕ И ДНКОВЫЕ МИКРОЧИПЫ

Процесс комплементарных взаимодействий двух нитей ДНК (гибридизация) осложняется существенно меньшей стабильностью совершенного дуплекса А–Т по сравнению с G–C дуплексом и неодинаковым дестабилизирующим эффектом различных неправильных пар оснований. Поэтому в некоторых типах экспериментов было введено измерение кривых плавления, то есть количественной регистрации флуоресценции параллельно во всех ячейках микрочипа в градиенте повышающейся температуры. Это позволяет вычислить термодинамические параметры образования дуплексов: свободную энергию, энтропию и энтальпию. Проведение таких исследований на производимых нами микрочипах, содержащих всевозможные 6-мерные нуклеотиды (всего их 4096), открывает уникальные возможности. Сейчас изме-

ряются термодинамические параметры для 4096 совершенных гексамерных дуплексов и 73 728 дуплексов, содержащих всевозможные неправильные пары оснований во всех положениях гексануклеотидов. Составление полного каталога термодинамических параметров гексамерных дуплексов позволит создать более точную теорию гибридизации и оценить влияние на гибридизацию первичной и вторичной структур в ДНК. Эта теория необходима для практических работ с ДНК и, в свою очередь, будет способствовать завершению развития метода секвенирования ДНК гибридизацией.

Для широкого применения секвенирования ДНК гибридизацией с полными, например 6-мерными или более сложными, микрочипами требуется решение ряда проблем. Важной задачей является надежная дискриминация совершенных и неправильных дуплексов, образующихся на биочипе, что затруднено различиями в стабильности А–Т и G–C пар оснований. Измерение кривых плавления дуплексов и применение алгоритмов, вычисляющих поверхность под кривой плавления для каждого дуплекса, увеличивают надежность анализа. Другим серьезным препятствием является частое присутствие в ДНК повторяющихся гексануклеотидных и более длинных последовательностей. Эту частоту можно оценить количественно, измеряя и сравнивая интенсивности флуоресценции различных элементов биочипа.

Гибридизация с полным 6-мерным биочипом становится привлекательным методом для выявления известных и открытия новых мутаций и нуклеотидного полиморфизма в участках ДНК с известной структурой. Последовательная гибридизация с одним и тем же полным биочипом двух фрагментов одного и того же участка генома с известной и анализируемой структурой позволяет выявить различия во флуоресцентной картине и установить структуру и положение измененного основания в ДНК. Таким методом можно выявлять присутствие патогенных мутантов в стандартном штамме полиовируса, используемого как полиомиелитная вакцина [10].

Полные 6-мерные биочипы были также использованы для выявления специфичности ДНК-связывающихся соединений к определенным нуклеотидным последовательностям. Таким способом была изучена специфичность гистоноподобного бактериального белка HU, низкомолекулярного красителя Хекст 33258, а также белка р50 [11], являющегося регулятором транскрипции и трансляции и открытого группой академика Л.П. Овчинникова (рис. 5).

Гибридизация с олигонуклеотидными микрочипами служит для качественной и количественной идентификации нуклеиновых кислот и для анализа структурных вариаций в них. Рибосомы присутствуют во всех живых клетках, а рибосомальные РНК являются одними из наиболее эволюционно консервативных макромолекул. Вместе с тем в рибосомальных РНК существуют несколько переменных участков. Различия в нуклеотидной последовательности этих участков применяются для идентификации микроорганизмов и для прослеживания их эволюции. Нами разработан ряд микрочипов для экспрессного метода идентификации нитрифицирующих бактерий [12], бактерий групп *Bacillus* [13] и археобактерий. Присутствие рибосомальных РНК в клетке в количестве тысяч копий позволяет проводить анализ в ряде случаев без их амплификации. Разработана также простая система выделения рибосомальных РНК и их флуоресцентного мечения на одной и той же колонке, что позволило создать биочипный экспресс-метод анализа таких

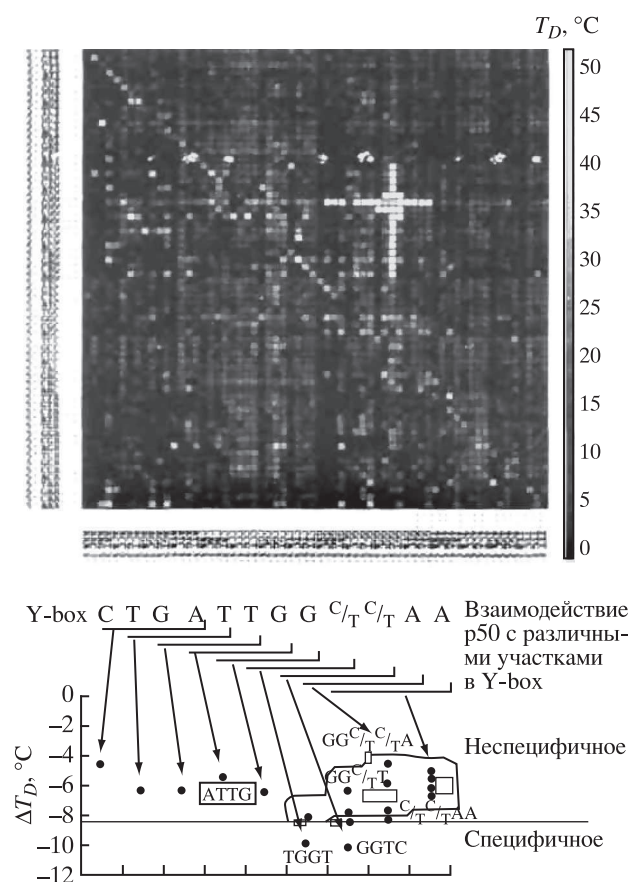


Рис. 5. Идентификация узнавания белком P50 специфичных участков в ДНК

Флуоресцентно окрашенный белок P50 связывается с полным 6-мерным олигонуклеотидным микрочипом. Проводится измерение флуоресценции белка на каждом элементе биочипа в градиенте повышающейся температуры и T_D – температур плавления комплексов белка с олигонуклеотидами. Олигонуклеотиды микрочипа, проявляющие наибольшую температурную стабильность в комплексе с ДНК, локализованные в светлом кресте и содержащие тетра- и пентануклеотидные последовательности TGGT и GGTC, демонстрируют также и наибольшую специфичность связывания

типов биологического оружия, как сибирская язва [13]. Мы изучаем также возможность создания биогенов для идентификации всех или большей части известных микроорганизмов.

Для качественного и количественного анализа экспрессии генов и содержания различных информационных РНК существует несколько зарубежных коммерческих биочипных систем. Гелевые микрочипы были использованы нами также для анализа мРНК, например, для идентификации хромосомных перестроек, вызывающих восемь различных типов лейкозий [14]. Соответствующая микрочипная диагностика лейкозий внедрена в Детском республиканском гематологическом центре.

Олигонуклеотидные микрочипы являются эффективным подходом для одновременной идентификации от десятков до тысяч генов и их структурного анализа, для выявления специфичных нуклеотидных последовательностей

и нуклеотидных вариаций в их структуре. Однако когда гены присутствуют в геноме в количестве одной или нескольких копий, требуется их предварительная амплификация. Наиболее эффективным методом амплификации ДНК является полимеразная цепная реакция, в процессе которой происходит экспоненциальное увеличение количества молекул ДНК от нескольких до миллионов и более копий, достаточных для проведения их гибридизационного анализа.

В более традиционном и простом подходе амплификация ДНК и гибридизация амплифицированной ДНК с биочипом проводятся в две отдельные стадии. Такие двухстадийные методы были разработаны нами в совместных исследованиях с рядом российских и зарубежных лабораторий для идентификации мутаций в β -глобиновом гене, вызывающем наследственное заболевание β -талассемию, определения аллелей в гене гистосовместимости HLA DQA1, нуклеотидного полиморфизма в гене μ -опиоидного рецептора [15], обуславливающего, вероятно, склонность к наркомании, определения ряда бактериальных генов, ответственных за резистентность к антибиотикам и синтез некоторых токсинов [16].

Гибридизация амплифицированной ДНК с гелевыми биочипами нашла применение в практике для идентификации мутаций, ответственных за резистентность туберкулезных бацилл к одному из основных противотуберкулезных препаратов – рифампицину [17, 18]. Этот метод прост, недорог и ускоряет анализ от нескольких недель до 1 дня. Метод был разработан совместно с Московским научно-практическим центром борьбы с туберкулезом и ГНЦ вирусологии и биотехнологии “Вектор” и опробован более чем на 150 больных в ряде клиник. Налажен коммерческий выпуск таких наборов для анализа, содержащих олигонуклеотидные микрочипы, компоненты для амплификации ДНК, включая синтетические флюоресцентно меченные олигонуклеотиды, клинический анализатор биочипов с портативным компьютером и программой для автоматического анализа биочипов. Этот метод нетрудно адаптировать для обнаружения многих других микроорганизмов, генов лекарственной резистентности и синтеза токсинов, а также для идентификации различных мутаций в вирусах, микроорганизмах, животных (включая человека) и растениях. Введение соответствующих изменений, необходимых для выполнения этих задач, можно провести за короткое время – от нескольких недель до нескольких месяцев.

В двух других разработанных методах гибридизацию на микрочипе объединяют с амплификацией на микрочипе в одну стадию, что ускоряет и упрощает анализ. Во втором методе [18] амплификация происходит параллельно в растворе в реакционной камере и в гелевых элементах микрочипа, содержащих иммобилизованные и участвующие в амплификации олигонуклеотиды (праймеры). Такой подход был использован для сокращения идентификации туберкулезной бациллы до 2 часов и определения ее резистентности сразу к двум лекарственным препаратам – рифампицину и изониазиду. В методе используется также аллельспецифичная амплификация, протекающая на иммобилизованных в геле олигонуклеотидах. Помимо этого, мутации и полиморфные нуклеотиды могут выявляться с помощью ферментативных реакций удлинения иммобилизованных на чипе олигонуклеотидов

на один нуклеотид и их соединения с другими олигонуклеотидами – легирования [18].

В третьем методе амплификация происходит исключительно в гелевых элементах микрочипа [19], используемых в этом случае как пробирки объемом от нескольких нанолитров до долей микролитра. Каждая из этих гелевых нанопробирок содержит необходимые для амплификации два и более специфических олигонуклеотида. Метод пока достаточно сложен в исполнении и требует дальнейшей доработки. Однако его реализация позволит анализировать на одном биочипе и в одном эксперименте тысячи полиморфных нуклеотидов в геноме, что позволит использовать его для массового скрининга популяций. Известно, что полиморфизм примерно 3 млн нуклеотидов из 3 млрд, составляющих человеческий геном, отличает одного человека от другого. Полиморфизм отвечает за наследственные дефекты и патологии, предрасположенность ко многим заболеваниям, в том числе злокачественным, и определяет многие другие генетически заданные особенности человека. Поэтому создание простого и эффективного микрочипного анализа полиморфизма сразу по многим участкам для каждого индивида приблизит человека к цели “Познай самого себя”, начертанной приблизительно 2500 лет назад на стене Дельфийского храма в Греции.

На рис. 6 показаны другие биочипы, разработанные для идентификации ряда патогенных микроорганизмов и вирусов, а также для выявления ряда вызывающих рак мутаций. Некоторые из этих биочипов могут быть использованы для быстрого и чувствительного выявления биологического оружия, оспы, сибирской язвы и других подобного рода болезней.

Технология производства микрочипов позволяет с небольшими изменениями получать как олигонуклеотидные и ДНКовые, так и белковые микрочипы, содержащие ферменты, антитела, антигены и т.д. [3, 20]. Стабилизирующий эффект иммобилизации в геле позволяет хранить большинство белковых микрочипов в течение месяцев без потери функциональной активности.

В сотрудничестве с лабораториями членов-корреспондентов РАН Е.В. Гришина и В.А. Несмеянова (ИБХ, РАН), а также А.Ю. Барышникова (Онкоцентр РАМН) нами было продемонстрировано эффективное применение белковых гелевых чипов для количественной диагностики ряда токсинов, а также раковых антигенов и антител в крови пациентов. Эти начальные эксперименты свидетельствуют, что биочипы конкурентоспособны в клинической иммунодиагностике со стандартными методами.

Перспективно использование белковых чипов в бурно развивающейся протеомике. В этой связи особый интерес представляют следующие две задачи:

- качественное и количественное определение параллельно большого количества белков в клетках различных тканей или в различных функциональных состояниях, для чего можно использовать специфические антитела, как продемонстрировано на рис. 7, для количественной идентификации антигена рака простаты; в ряде стран уже развернуты программы получения большинства белков человеческих и бактериальных клеток и производства специфических антител к ним; мы надеемся использовать отечественную биочипную технологию для сотрудничества с этими программами с целью

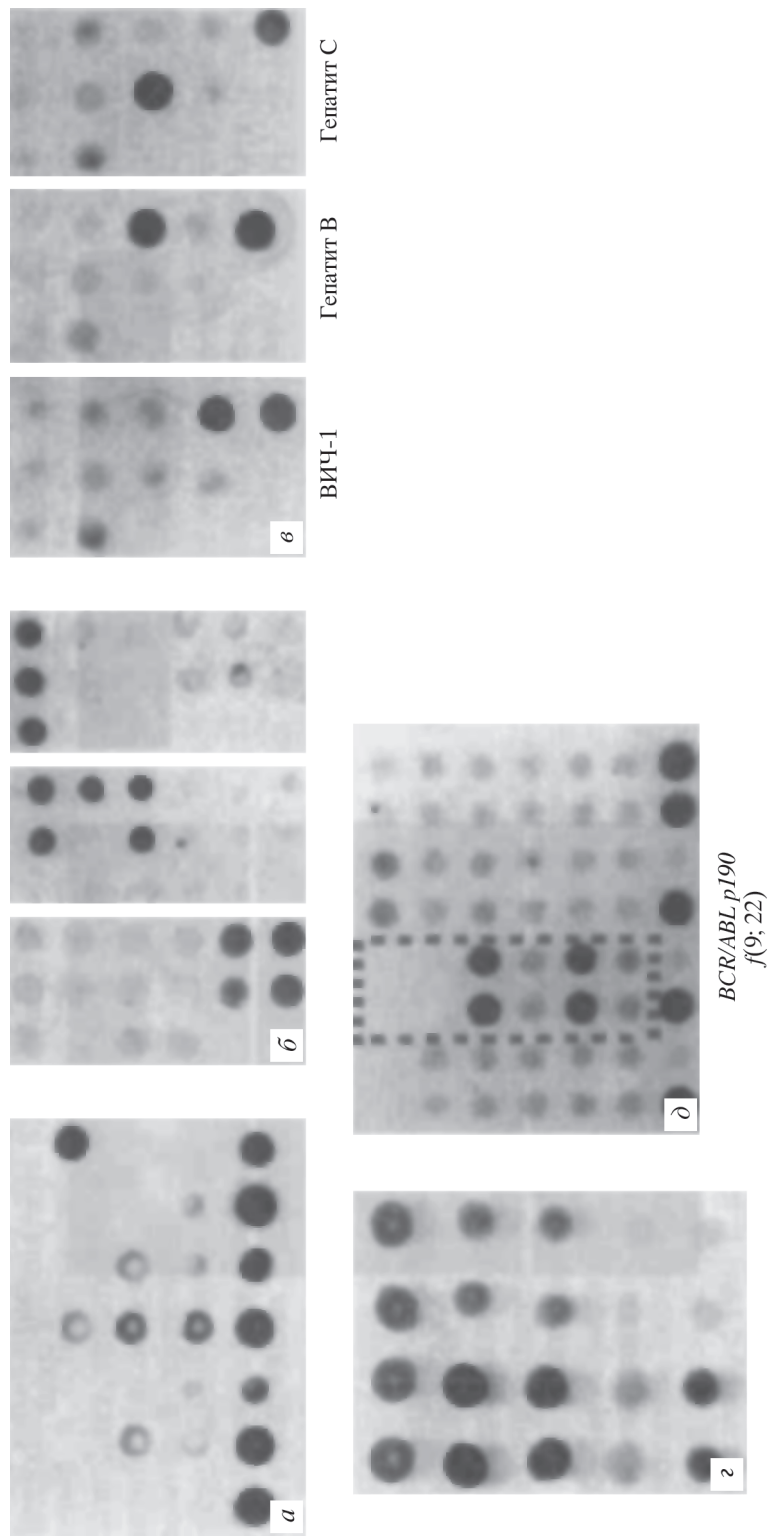


Рис. 6. Биочипы, разработанные для идентификации некоторых патогенных бактерий, вирусов и биологического оружия, а также для обнаружения мутаций, вызывающих раковые заболевания

а – вируса натуральной оспы, осповакцины, оспы коров; *б* – сибирской язвы, чумы, бруцеллеза на одном чипе; *в* – детекция патогенов в донорской крови; *г* – мутации в ген bcrа1, ответственных за возникновение рака молочной железы; *д* – транслокаций при лейкозах

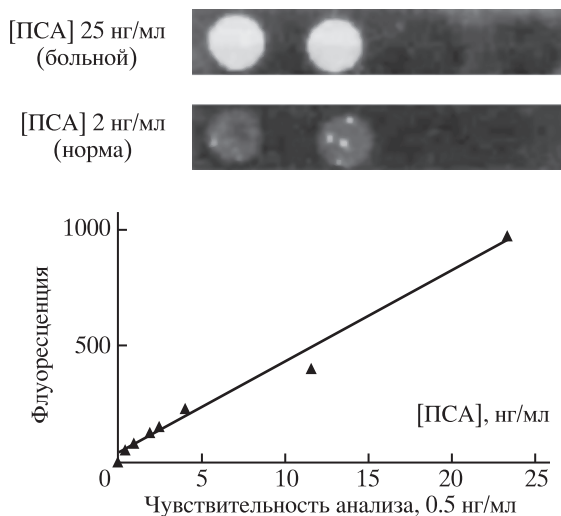


Рис. 7. Белковые микрочипы. Анти-тельные микрочипы, разработанные для количественного анализа рака простаты флуоресцентным методом

создания системы количественного определения клеточных белков;

- изучение взаимодействий клеточных белков друг с другом и другими клеточными лигандами, такими как ДНК и низкомолекулярные соединения; определение специфичности ДНК связывающихся белков с помощью полных олигонуклеотидных микрочипов описано

ранее; значительно более сложной задачей является идентификация белков, специфически взаимодействующих друг с другом и лигандами, если хотя бы один компонент неизвестен; для этих случаев разработан метод идентификации связывающихся с микрочипом молекул с помощью масс-спектрометрии; на белковых микрочипах, содержащих иммобилизованные ферменты, можно проводить также кинетический анализ их субстратов и ингибиторов [3].

КЛЕТОЧНЫЕ МИКРОЧИПЫ

Многие прокариотические и эукариотические клетки, как известно, сохраняют свою жизнедеятельность и даже могут делиться, будучи фиксированы в гидрогеле. Это открывает ряд интересных возможностей, в том числе для создания клеточных биочипов как матричных биосенсоров для параллельного определения, например, ряда антибиотиков и ксенобиотиков. На рис. 8 показан такой бактериальный микрочип [21], содержащий иммобилизованные и резистентные к различным антибиотикам штаммы *E. coli*. Фотография прокрашенного гелевого элемента на рис. 8 свидетельствует о распределении растущих клеток по всему объему геля. Кинетика деления и роста бактерий в геле микрочипа регистрируется окрашиванием клеток флуоресцентной краской. Рост бактерий зависит от резистентности клеток к антибиотику и его присутствия в среде. Рисунок показывает бактериальный микрочип, содержащий иммобилизованные в геле 4 штамма *E. coli*, чувствительные и резистентные к антибиотикам тетрациклину, хлорамфениколу и смеси хлорамфеникола и ампициллина. Подавление роста бактерий в соответствующих элементах биочипа позволяет идентифицировать присутствие этих антибиотиков в среде. После построения калибровочной кривой содержание антибиотиков в среде может быть измерено количественно. Представляет интерес также создание микрочипов, содержащих животные и растительные клетки для определения широкого диапазона различных веществ в окружающей среде.

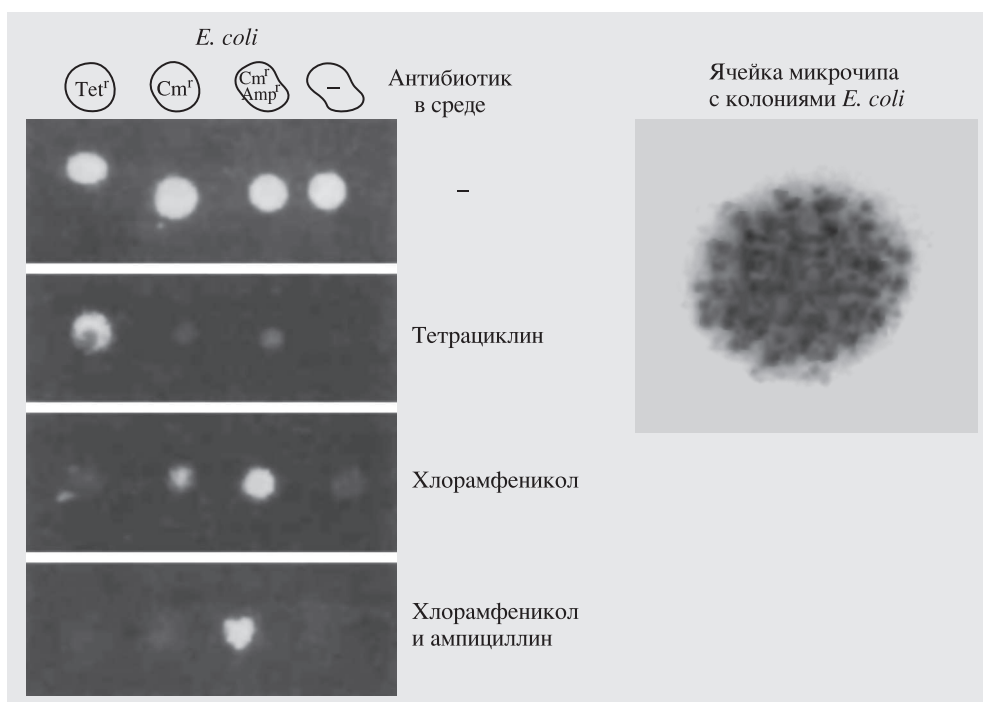


Рис. 8. Клеточный биочип, содержащий различные штаммы бактерий, и его использование для качественного и количественного анализа антибиотиков

* * *

Развитие технологии биочипов в Институте молекулярной биологии РАН стало возможным благодаря тесному сотрудничеству исследователей различных специальностей – биологов, химиков, физиков, инженеров, математиков. Эта многогранность была заложена уже при создании института его основателем, академиком В.А. Энгельгардтом. В развитии биочипов участвует в той или иной степени более 12 групп и лабораторий института. Кроме того, с 1991 г. нами проводились совместные исследования и разработки с более чем 40 отечественными и зарубежными исследовательскими и производственными лабораториями и фирмами. Благодаря относительной самодостаточности нам удастся продолжать успешную работу и в нынешние, весьма нелегкие для российской науки времена.

Развитие отечественной технологии гелевых биочипов и ее различных практических приложений, начатое с 1989 г., получило значительную поддержку, в том числе финансовую, как в России, так и в США со стороны ряда государственных и частных организаций. Эффективность реализации этих затрат будет определяться широтой и масштабностью использования отечественной технологии в фундаментальных исследованиях и в приложениях в медицине, биотехнологии, сельском хозяйстве, для мониторинга окружающей среды и для борьбы с биотерроризмом. С этой целью при активной поддержке Президиума РАН создается Центр коллективного пользования техно-

логией биологических микрочипов при Институте молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН. Центр будет предоставлять отечественную технологию биочипов сотрудникам РАН, а также и другим государственным и частным учреждениям.

Литература

1. Reviews: The Chipping Forecast // *Nature Genetics*. 1999. V. 21. P. 1–60.
2. Khrapko K., Lysov Yu., Khorlin A. et al. An oligonucleotide hybridization approach to DNA sequencing // *FEBS Letters*. 1989. V. 256. P. 118–122.
3. Arenkov P., Kukhtin A., Gemmell A. et al. Protein microchips: Use for immunoassay and enzymatic reactions // *Anal. Biochem.* 2000. V. 278. P. 123–131.
4. Gilbert W. DNA sequencing and gene structure // *Science*. 1981. V. 214. P. 1305–1312.
5. Лысов Ю., Флорентьев В., Хорлин А. и др. Определение нуклеотидной последовательности ДНК гибридизацией с олигонуклеотидами. Новый метод // *Докл. Акад. наук СССР*. 1988. Т. 303. С. 1508–1511.
6. Барский В., Колчинский А., Лысов Ю., Мирзабеков А. Биологические микрочипы, содержащие иммобилизованные в гидрогеле нуклеиновые кислоты, белки и другие соединения: свойства и приложения в геномике // *Мол. биол.*, 2002. Т. 36. С. 563–584.
7. Chechetkin V.R., Turygin A.Y., Proudnikov D.Y., Prokopenko D.V., Kirillov Eu.V., Mirzabekov A.D. Sequencing by hybridization with generic 6-mer oligonucleotide microarray: an advanced scheme for data processing // *J. Biomol. Structure & Dynamics*, 2000. V. 18. P. 83–101.
8. Vasiliskov V., Timofeev E., Surzhikov S., Drobyshev A., Shick V., Mirzabekov A. Fabrication of microarray of gel-immobilized compounds on a chip by copolymerization // *BioTechnique*. 1999. V. 27. P. 592–606.
9. Barsky V., Perov A., Tokalov S. et al. Fluorescence data analysis on gel-based biochips // *J. Biomol. Screening*. 2002. V. 7. P. 247–257.
10. Proudnikov D., Kirillov Eu., Chumakov K. et al. Analysis of mutations in oral poliovirus vaccine by hybridization with generic oligonucleotide microchips // *Biologicals*. 2000. V. 28. P. 57–66.
11. Zasedateleva O., Krylov A., Prokopenko D. et al. Specificity of mammalian Y-box binding protein p50 in interaction with ss and ds DNA analyzed with generic oligonucleotide microchip // *J. Mol. Biol.* 2002. V. 334. P. 73–87.
12. Guschin D., Mobarry B., Proudnikov D. et al. Oligonucleotide microchips as genosensors for determinative and environmental studies in microbiology // *Applied and Environmental Microbiology*. 1997. V. 63. P. 2397–2402.
13. Bavykin S.G., Akowski J.P., Zakhariev V.M., Barsky V.E., Mirzabekov A.D. Microbial identification: A portable system for sample preparation and oligonucleotide microarray hybridization // *Appl. & Environ. Microbiology*. 1997. V. 67. P. 922–928.
14. Nasedkina T., Domer P., Zharinov V. et al. Identification of chromosomal translocation in leukemias by hybridization with oligonucleotide microarrays // *Haematologica*. 2002. V. 87. № 4.
15. LaForge K.S., Shick V., Spangler R. et al. Detection of single nucleotide polymorphisms of the human mu opioid receptor gene by hybridization or single nucleotide extension // *Am. J. Med. Genet., Neuropsychiatric Genetics Section*, 2000. V. 96. № 5. P. 604–615.
16. Strizhkov B.N., Drobyshev A.L., Mikhailovich V.M., Mirzabekov A.D. PCR amplification on a microarray of gel-immobilized oligonucleotides: Detection of bacterial toxin- and drug-resistant genes and their mutations // *BioTechniques*. 2000. V. 29. P. 844–857.
17. Mikhailovich V., Lapa S., Gryadunov D. et al. Detection of rifampin-resistant *Mycobacterium tuberculosis* strains by hybridization and polymerase chain reaction on a specialized TB-microchip // *Bull. Experim. Biol. & Medicine*. 2001. V. 131. P. 94–98.
18. Mikhailovich V., Lapa S., Gryadunov D. et al. Identification of rifampin-resistant *Mycobacterium tuberculosis* strains by hybridization, PCR, and ligase detection reaction on oligonucleotide microchips // *J. Clinical Microbiology*. 2001. V. 39. P. 2531–2540.
19. Tillib S., Strizhkov B., Mirzabekov A. Integration of multiple PCR amplification and DNA mutation analyses by using oligonucleotide microchip // *Analyt. Biochem.* 2001. V. 292. P. 155–160.

20. Рубина А., Паньков С., Иванов С., и др. Белковые микрочипы // Докл. Акад. наук. 2001. № 5. С. 419–422.
21. Фесенко Д., Наседкина Т., Мирзабеков А. Бактериальный микрочип: принцип работы на примере обнаружения антибиотиков // Докл. Акад. наук, 2001. Т. 381. № 6. С. 831–833.

НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Академик Н.П. Лакишев

Основную часть конструкционных материалов составляют металлические, керамические, полимерные и композиционные. Выбор для их применения в конструкциях определяется соотношением между прочностью и пластичностью. Металлические материалы обладают наилучшим таким соотношением [1]. Керамические и полимерные материалы менее пластичны, нежели металлические, а композиционные по указанным характеристикам занимают промежуточное положение между керамическими и металлическими материалами. Оптимальное соотношение между прочностью и пластичностью металлических материалов определило их превалирующую долю в общем объеме конструкционных материалов, которая превышает 90%. Мировое производство стали непрерывно возрастало и к концу XX в. достигло 800 млн т в год [2]. Некоторое замедление темпов роста в значительной мере связано с удовлетворением потребности за счет повышения качества сталей (табл. 1). К настоящему времени в России разработано и используется около 2000 марок сталей и выпускается более 15 млн вариантов исполнения металлопродукции, включающих металлы массового назначения (стали, алюминиевые сплавы, титановые сплавы и др.), высокопрочные стали и сплавы, жаропрочные сплавы, хладостойкие стали, коррозионностойкие стали и сплавы, износостойкие стали, радиационностойкие стали и сплавы, литейные чугуны и др.

Прирост прочностных свойств конструкционных материалов за последние десятилетия был обусловлен в основном разработкой сплавов с новым химическим и фазовым составом. В последние годы наметились новые пути

Таблица 1

Механические свойства обычной углеродистой и высокопрочной стали

Свойства	Углеродистая сталь	Высокопрочная сталь
Предел прочности, МПа	400–450	2500–2800
Предел текучести, МПа	200–250	1700–2800
Предел выносливости, МПа (на базе 10 ⁷ циклов)	120–150	–
Относительное удлинение, %	20	9–14
Ударная вязкость, Дж/см ²	45–50	35–45

повышения свойств конструкционных материалов за счет целенаправленного формирования микро- и нанокристаллической структуры.

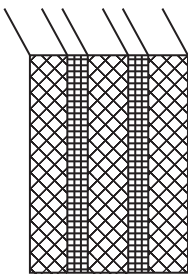
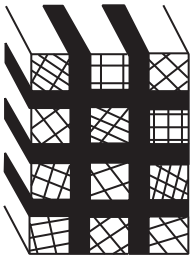
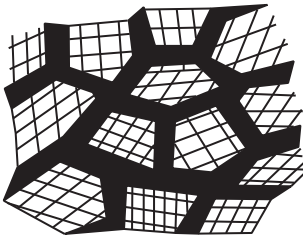
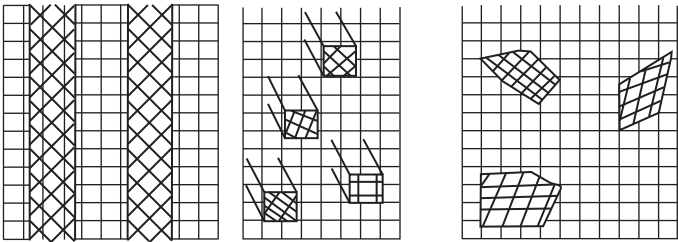
Химический и фазовый состав, форма, размеры и другие характеристики кристаллитов и границ раздела оказывают определяющее влияние на свойства материалов. Наноматериалы можно классифицировать по химическому составу, форме кристаллитов и расположению границ раздела (табл. 2) [3]. По этим параметрам они делятся на слоистые, волокнистые и равноосные, для которых соответственно толщина слоя, диаметр волокна или зерна меньше некоторого значения, например 100 нм. По химическому составу кристаллитов можно выделить четыре группы наноматериалов. Для наиболее простого варианта химический состав кристаллитов и границ раздела одинаков – это, например, слоистые поликристаллические полимеры или чистые металлы с нанокристаллической равноосной структурой. Вторая группа представляет наноструктурные материалы с кристаллитами различного химического состава, в частности, многослойные структуры. Для материалов третьей группы химический состав зерен и границ раздела различен. Материалы, в которых наноразмерные компоненты структуры (слои, волокна или равноосные кристаллиты) диспергированы в матрице сплава другого химического состава, составляют четвертую группу.

Многообразие методов порошковой металлургии – компактирование нанопорошков, интенсивная пластическая деформация и кристаллизация из аморфного состояния – обеспечивает широкие возможности для получения наноматериалов. На уплотнение дисперсных порошков значительное влияние оказывают такие параметры, как средний размер частиц, содержание примесей, состояние поверхности, форма частиц и способ прессования. Для прессования нанопорошков широко применяют одноосное прессование: статическое (в пресс-формах, штамповка), динамическое (магнитно-импульсное, взрывное) и вибрационное (ультразвуковое). Для получения высокоплотных однородных материалов используется всестороннее (изостатическое) прессование: гидростатическое, газостатическое, квазигидростатическое (в специальных пресс-формах под высоким давлением). Применяется также метод интенсивного пластического деформирования (ИПД) – кручение под высоким давлением.

Перспективный способ получения наноматериалов – спекание нанопорошков под давлением. Методами горячего изостатического прессования и высокотемпературной газовой экструзии получены компакты из нанопорошков Ni, Fe и WC-Co с повышенными прочностными свойствами [4, 5].

Метод ИПД, заключающийся в обжатии с большими степенями деформации при относительно низких температурах (ниже $0.3\text{--}0.4 T_{\text{пл}}$, где $T_{\text{пл}}$ – температура плавления материала) в условиях высоких приложенных давлений, позволяет получать объемные беспористые нанокристаллические металлы и сплавы [6]. Обычные методы деформации – прокатка, волочение, прессование и др. – в конечном счете приводят к уменьшению поперечного сечения заготовки и не позволяют достигать больших степеней измельчения зерна. Нетрадиционные методы – кручение под гидростатическим давлением, равноканальное угловое прессование, знакопеременный изгиб – позволяют деформировать заготовку без изменения сечения и формы и достигать необходимых высоких степеней деформации и измельчения зерна. К настоящему

Таблица 2. Классификация наноматериалов по структуре

Форма кристаллитов	Химический состав кристаллитов			
	Состав кристаллитов и границ раздела одинаковый	Состав кристаллитов различен	Состав границ и кристаллитов различен	Кристаллиты диспергированы в матрице различного состава
	Слоистая	Волокнистая	Равноосная	
				

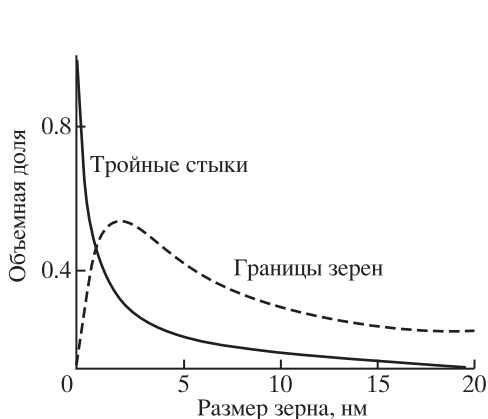


Рис. 1. Зависимость объемной доли границ зерен и тройных стыков от размера зерна (при толщине границы зерна 1 нм)

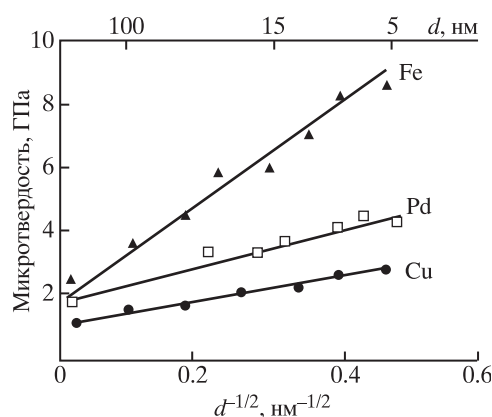


Рис. 2. Влияние размера зерна (d) на микротвердость металлов

времени нано- и субмикроструктурная структура в ходе ИПД получена в алюминии, железе, магнии, вольфраме, никеле, титане и их сплавах. Такая структура приводит к изменению физических и механических свойств (значительное повышение прочности при сохранении пластичности, повышение износостойкости, проявление высокоскоростной и низкотемпературной сверхпластичности).

Наноструктурные материалы, обладающие повышенными прочностными и магнитными свойствами, можно получать и из аморфных сплавов посредством низкотемпературного отжига. Наноструктура может состоять только из кристаллитов или из смеси наноразмерных кристаллов и аморфной фазы. Наноструктурные сплавы получают также методами термомеханической обработки прессовок из аморфных порошков [7]. Полученные материалы тоже отличаются повышенными прочностными и другими физическими свойствами.

С уменьшением размера зерна от 1 мкм до 2 нм объемная доля межзеренного вещества увеличивается до 88% (рис. 1). Объемные доли межзеренной и внутризеренной (совершенной) компоненты равны при размере зерна около 5 нм. Объемная доля тройных стыков значительно возрастает при размерах зерен менее 10 нм [8]. В ряде случаев при уменьшении размера зерна наблюдается изменение межатомных расстояний в кристаллической решетке. Однако четкой закономерности здесь не наблюдается [6, 9].

Формирование нанокристаллических структур позволяет получать конструкционные материалы с уникально высокими свойствами. Например, их микротвердость в 2–7 раз выше, чем твердость крупнозернистых аналогов, причем это не зависит от метода получения материала (рис. 2) [10]. Прочность нанокристаллических материалов при растяжении в 1.5–2 раза выше, чем у крупнозернистых аналогов (эта проблема требует дальнейшего изучения). Однако в ряде работ наблюдали падение твердости с уменьшением размера зерна ниже некоторого критического размера, что, вероятнее всего, связано с увеличением доли тройных стыков границ зерен [8]. Для больших зерен

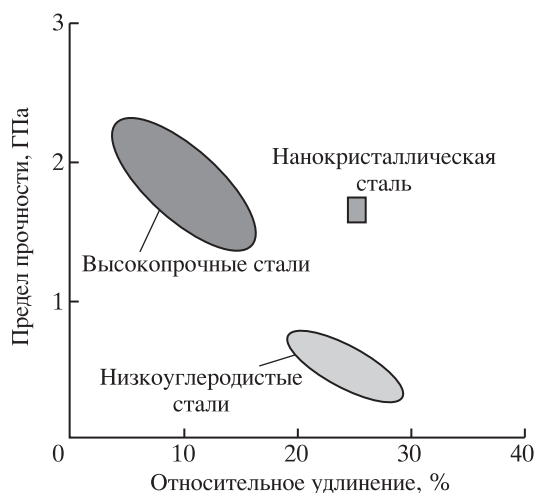


Рис. 3. Соотношение между прочностью и пластичностью для сталей

рост прочности и твердости при уменьшении их размера обусловлен введением дополнительных границ зерен, которые являются препятствиями для движения дислокаций. При малых наноразмерных зернах рост прочности происходит благодаря низкой плотности имеющихся дислокаций и трудности образования новых. На рис. 3 представлено соотношение между прочностью и пластичностью для сталей. Сталь 12Х18Н10Т с нанокристаллической структурой обладает хорошим соотношением прочности и пластичности [11].

В отдельных случаях низкая пластичность нанокристаллических материалов вызывается, по-видимому, сложностью образования, размножения и движения дислокаций, а также наличием пор, микротрещин и включений в этих материалах.

При уменьшении размера зерна от 10 мкм до 10 нм скорость износа никеля уменьшается от 1330 до 7.9 мкм³/мкм [12]. Износостойкость алюминиевых сплавов с нанокристаллической структурой значительно выше, чем крупнозернистых (рис. 4) [13].

Такие хрупкие материалы, как интерметаллиды, становятся пластичными при уменьшении размеров зерен ниже критических размеров, что можно объяснить наличием специфических механизмов зарождения и распространения микротрещин. Для керамических нанокристаллических материалов обнаружена повышенная пластичность при низких температурах, ее можно использовать в промышленных процессах экструзии и прокатки [9].

Для всех наноматериалов (так же как и для малых частиц) имеет место увеличение теплоемкости с уменьшением размера зерна, но наибольший ее

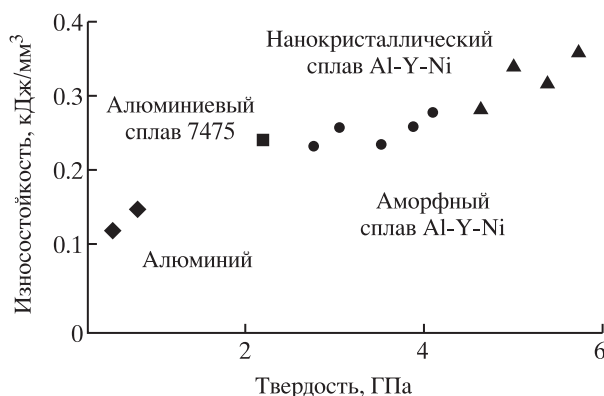


Рис. 4. Износостойкость алюминиевых сплавов

прирост наблюдается для наноматериалов, полученных прессованием порошков. Коэффициент объемного термического расширения увеличивается с уменьшением размера зерна. Коэффициент граничной диффузии в наноматериалах значительно выше, чем в крупнозернистых, что позволяет их легировать нерастворимыми или слабо растворимыми при обычных условиях элементами за счет более развитой зеренной структуры [9, 14].

Итак, наноразмерные структуры конструкционных материалов открывают уникальные возможности для получения нового уровня свойств: высокой прочности, твердости, износостойкости при достаточно высокой пластичности. Повышение пластичности керамики и интерметаллидов открывает большие перспективы для их использования в конструкциях.

Разработка методов получения объемных (массивных) нанокристаллических заготовок с равномерной структурой по сечению заготовки, без пор, микротрещин и других дефектов структуры – актуальная задача, решение которой позволит расширить применение наноматериалов конструкционного назначения.

Литература

1. Лякишев Н.П., Банных О.А., Поварова К.Б., Тишаев С.И. Металлические материалы в государственной научно-технической программе “Перспективные материалы” // Изв. АН СССР. Металлы. 1991. № 6.
2. Лякишев Н.П., Николаев А.В. Некоторые вопросы металлургической технологии будущего // Металлы. 2002 (в печати).
3. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure // Acta mater. 2000. V. 48.
4. Alymov M.I., Leontieva O.N. Synthesis of nanoscale Ni and Fe powders and properties of their compacts // Nanostr. Mat. 1995. V. 6. № 1–4.
5. McCandlish L.E., Kear B.N., Kim B.K. Processing and properties of nanostructured WC–Co // Nanostr. Mat. 1992. V. 1. № 2.
6. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос, 2000.
7. Haas V., Cho M., Ishii H., Inoue A. Behavior of quasicrystal-reinforced $Al_{94}Cr_1Mn_3Cu_2$ under fatigue conditions // Nanostr. Mat. 1999. V. 12. № 5–8.
8. Palumbo G., Thorpe S.J., Aust K.T. On the contribution of the triple junction to the structure and properties of nanocrystalline materials // Scripta Met. 1990. V. 24.
9. Лякишев Н.П., Алымов М.И., Добаткин С.В. Наноматериалы конструкционного назначения // Конверсии в машиностроении. 2002. № 6.
10. Siegel R.W., Fougere G.E. Mechanical properties of nanophase metals // Nanostr. Mat. 1995. V. 6. № 1–4.
11. Косицын И.И., Сагарадзе В.В., Копылов В.И. Формирование высокопрочного и высокопластичного состояния в метастабильных аустенитных сталях методом равноканально-углового прессования // Физика металлов и материаловедение. 1999. Т. 88. № 5.
12. Robertson A., Erb U., Palumbo G. Practical application for electrodeposited nanocrystalline materials // Nanostr. Mat. 1999. V. 12. № 5–8.
13. Greer A.L. Changes in structure and properties associated with the transition from the amorphous to the nanocrystalline state // Nanostr. Mat.: Science and Technology. St. Petersburg, Russia, 1997.
14. Ларионов Л.Н. Диффузионные процессы в нанокристаллических материалах // Металлофизика и новейшие технологии. 1995. Т. 17. № 1.

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ НАНОЧАСТИЦЫ В ПРИРОДЕ

Академик О.А. Богатиков

Мы живем в окружении мириадов наночастиц. Они существуют в космосе, атмосфере, гидросфере, горных породах и магмах, также зафиксированы и техногенные наночастицы. В геологических процессах наночастицы могут образовываться: при распаде твердых растворов в минералах и стеклах; при субмикронном двойниковании некоторых кристаллов; при фазовых переходах из жидкого или газообразного состояния в твердое, при физических и химических процессах выветривания.

Наночастицы в космосе образуются при физических процессах, включающих импактный механизм, а также электрические разряды и реакции конденсации, происходящие в солнечной туманности.

Еще 15 лет назад американцы на своих космических кораблях собрали протопланетную пыль. При ее изучении в земных лабораториях оказалось, что эта пыль имеет размеры от 10 до примерно 150 нм. Ученые сделали химический анализ пыли и отнесли ее к углистым хондритам класса C1 (рис. 1). В верхней части рисунка представлены слабо растворимые силикатные минералы, высокообогащенные летучими соединениями и водой. Если провести дифференциацию углистых хондритов, то мы получим минералы, входящие в состав мантии Земли, показанной в средней части рисунка. Можно сделать вывод, что, по крайней мере, планеты земной группы Солнечной системы произошли из наночастиц, состав которых отвечает углистым хондритам.

Советские космические корабли доставили на Землю лунный грунт. Большею частью он состоит из реголита. Реголит – продукт переработки коренных лунных пород космическими агентами: солнечным ветром, галактическим

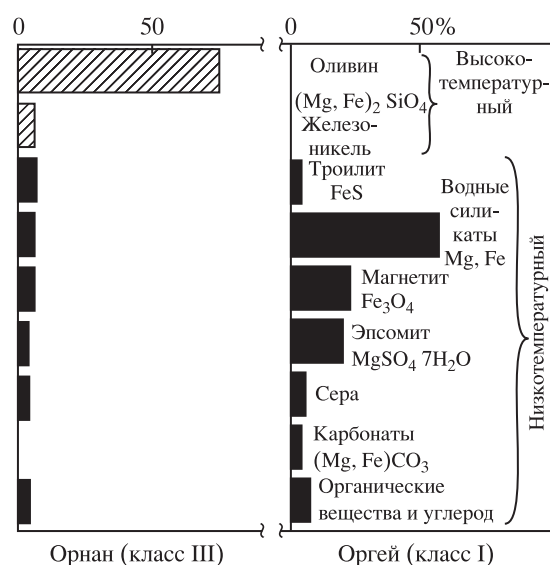


Рис. 1. Углистые хондриты

излучением, микро- и макрометеоритной бомбардировкой и кометными ударами. Лунный реголит миллиарды лет подвергается воздействию так называемого солнечного ветра. На Луне солнечный ветер – это протоны или ядра водорода. Под воздействием этих протонных бомбардировок происходит аморфизация поверхности лунного грунта или, другими словами, поверхностные слои реголита (металлоокислы) превращаются в наночастицы. Мы изучаем реголит более 15 лет и пришли к следующим выводам: наночастицы в лунном реголите чрезвычайно устойчивы к окислительным условиям.

Практическое применение наночастиц в промышленности можно проиллюстрировать следующим опытом. Мы взяли металлическую пластину, отполировали ее до зеркального блеска и написали на ней с помощью ионной пушки слово “Мир”. Затем на 10 минут поместили пластину в оксикатор с “царской водкой”, что равносильно 10-летнему пребыванию этого куска металла на воздухе. После извлечения пластины из оксикатора она была напроочь проржавевшая, кроме слова “Мир”. Этот простой опыт доказывает, что с помощью несложных приспособлений мы можем на 5–10 лет увеличить срок службы приборов и машин по сравнению с применяемыми сейчас способами закалки металлов.

Наночастицы в атмосфере. Главным источником атмосферных частиц по массе является минеральная пыль, выдуваемая ветром из почв, и частицы морской соли, образующиеся в океане.

Самыми крупными поставщиками наночастиц на большие высоты в атмосфере служат вулканы (вулканическая пыль). Концентрация наночастиц в атмосфере различна, и даже в одном конкретном месте она сильно изменяется во времени.

Вспышки формирования наночастиц совпадают со временем высокой солнечной активности. Наночастицы сульфидных минералов – элементарной серы, барита, ангидрита – переносятся на огромные расстояния, не растворяясь в морской воде. Наиболее поразительной является сохранность металлов (алюминия, хрома, цинка, титана и др.) в самородном виде в морской воде.

Наночастицы в гидросфере образуются большей частью в вершинах так называемых черных курильщиков (рис. 2), которые были открыты всего лишь 10 лет назад. Гидротермальные растворы – это наночастицы. Но, соединяясь с холодной водой (а их температура около 400 °С), они обращаются уже в видимые частицы (рис. 3).

Высокие уровни наноминерализации связаны с зонами разгрузки флюидно-гидротермальных горячих источников (жерла “черных курильщиков”), которые смешиваются с холодной водой. Из них образуются рудные месторождения. Подобные месторождения давно были открыты на Урале, в Сибири и в других районах.

Наночастицы в горных породах и магмах. При процессах химического выветривания образуются аморфный или опаловидный кремнезем, водные алюмосиликаты (аллофан), алюмосиликатные глины (галлузит), оксиды (магнетит, гематит), гидрооксиды (гетит). Процессы ретроградного метаморфизма приводят к таким реакциям, когда, например, биотит в твердом состоянии переходит в хлорит, вермикулит, смектит и т.д. Процессы преобразования терриконов приводят к тому, что наноминеральные ассоциации стекловатых и раскристаллизованных фаз поликомпонентного состава находятся в метастабильном состоянии. При выделении полезных ископаемых



Рис. 2. Вершина “черного курильщика”, хребет Хуан де Фука



Рис. 3. Полиметаллические отложения около выходов гидротермальных растворов

образуются так называемые пустые породы, в том числе и с примесью благородных металлов. Здесь уже говорилось о самоорганизации наночастиц. И в этих, вроде бы пустых, отвалах, образуются вторичные месторождения за счет самоорганизации благородных металлов. В первую очередь – золото и серебро. И уже через 20 лет эти “пустые” терриконы преобразуются во вторичные месторождения.

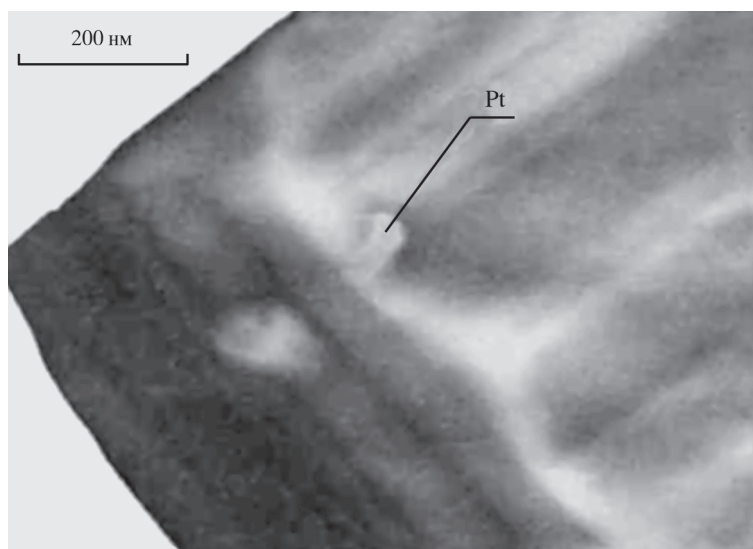


Рис. 4. Наночастицы самородной платины на кристалле пирита

Я думаю, что лет через 15–20 мы столкнемся с такой ситуацией, когда у нас уже не будет настоящих крупных месторождений со многими полезными компонентами, необходимыми нашей промышленности. Но зато сейчас открывается все больше и больше месторождений с нанофазами. Это черные сланцы. Первое золоторудное месторождение черных сланцев – Мурунтау – было открыто много лет тому назад. Его мы подарили Узбекистану. Совсем недавно, буквально два года тому назад, в Мурунтау открыли платиновую минерализацию. И в России существует множество месторождений подобного типа.

На рисунке показано месторождение Сухой лог. Черные сланцы этого месторождения образуются в океане и являются ни чем иным, как акриционными призмами при образовании островных дуг. В сланцах, на фоне сульфидов, других силикатных образований находятся наночастицы благородных металлов. Я бы сказал, не только благородных металлов, которые мы видим, потому что их размеры 100, иногда 120 нм. Там, в субмикронном состоянии, различимы такие рудные минералы, как редкие земли, Cr, Ni, Fe, W, Nb и другие, представленные в самородной, сульфидной и оксидной формах. Сначала Сухой лог был выставлен на продажу как золоторудное месторождение. Но совсем недавно, около пяти лет назад, там обнаружили платину (рис. 4). Практически в этих черных сланцах находится вся таблица Менделеева, поскольку океанские воды содержат элементы всех полезных ископаемых.

Изливающиеся на поверхность нашей планеты магмы, находясь в ее глубине, участвовали в высокотемпературных геологических процессах и проходили стадию наночастиц. Известно, что химия или физика наночастиц сильно отличаются от химии и физики макроэлементов, и именно наночастицы являются зародышем для образования крупных кристаллов полезных ископаемых и просто силикатов.

Техногенные наночастицы. Большое место в наших работах занимает изучение частиц, находящихся в атмосфере. Воздух, содержащий до 6 тыс. аэрозольных частиц в 1 см³, считается чистым. На высоте около 6 тыс. м над

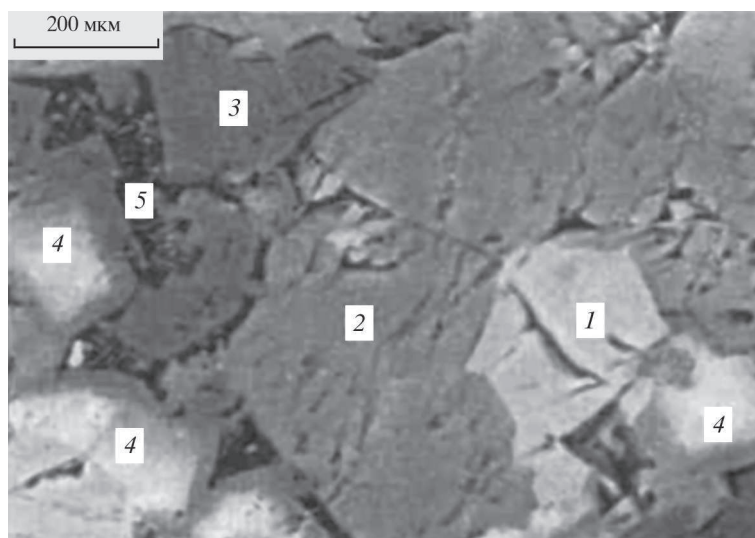


Рис. 5. Микрофото матрицы из различных минералов для захоронения радиоактивных отходов
 1 – цирконолит, 2 – голландит, 3 – перовскит, 4 – мурабалит, 5 – рутил

уровнем океана в 1 см^3 воздуха содержится только 20 наночастиц. Но в городах, на высоте около 100 м от земли, их количество оценивается 45 тыс./ см^3 . Для городских территорий примерно половину ультрамелких частиц составляют органические соединения. Оставшаяся масса представлена оксидами редких металлов, элементарным углеродом, сульфатами, нитратами, хлоридами и аммонием.

Реакция в тропосфере с участием наночастиц существенно влияет на концентрацию в воздухе таких важнейших газообразных загрязнителей, как азотная кислота, двуокись серы и другие. Эти реакции часто изменяют состав частиц, что сказывается на формировании облаков, рассеивании и поглощении света, воздействии на здоровье человека и окружающую среду. Эпидемиологические исследования показали, что ухудшение легочных функций человека и животных коррелируются с количеством ультрамелких ($D < 100$ нанометров) наночастиц.

Токсичные наночастицы возникают в атмосфере в результате внешних выбросов радиоактивного материала при ядерных катастрофах. В нашей стране произошло несколько подобных катастроф. Самая страшная из них – Чернобыльская. В результате Чернобыльской катастрофы суммарная активность выброса составила 50 МКи, его высота была 2 км, а радиоактивные осадки зарегистрированы на расстоянии более 2 тыс. км (на территории 20 государств). И такие опасные для нас радиоактивные осадки находятся в виде наночастиц.

Сейчас большое количество лабораторий занимается проблемой захоронения долгоживущих радиоактивных отходов в матрицах. Например, на микрофото представлен минерал муратаид (рис. 5). Он составляет всего около 5% объема керамики, представленной еще и цирконолитом, голландитом, перовскитом и рутилом. Муратаид аккумулирует половину общего количества урана, введенного в состав шихты, несмотря на его малое количество.

Появление высокоразрешающих методик изучения вещества дало нам инструмент для прямого наблюдения за процессами зарождения минералов, а также изучения различных материалов на наноуровне. Исследование природных ультрадисперсных систем инициировало создание новых наноматериалов для развития новых нанотехнологий. Уровень в 1 нм предполагается освоить в промышленном масштабе через 5–10 лет. Так что можно сделать следующее заключение: наночастицы – это наше прошлое, настоящее и будущее. Поэтому нанотехнологии одно из самых приоритетных направлений современных исследований не только у нас в стране, но и во всем мире.

ЭКОНОМИКА ЗНАНИЙ: УРОКИ ДЛЯ РОССИИ*

Академик В.Л. Макаров

Тот, кто получает идею от меня, пользуется ею,
не обедняя меня, подобно тому, как получивший
свет от моей лампы не погружает меня во тьму.

Томас Джефферсон

Термин “экономика знаний” был введен в научный оборот австроамериканским ученым Фрицем Махлупом (1962) в применении к одному из секторов экономики. Сейчас этот термин, наряду с термином “экономика, базирующаяся на знаниях”, используется для определения типа экономики, в которой знания играют решающую роль, а производство знаний является источником роста. Широко применяемые понятия “инновационная экономика”, “высокотехнологическая цивилизация”, “общество знаний”, “информационное общество” близки понятию “экономика знаний”.

В настоящее время инвестиции в знания растут быстрее, чем инвестиции в основные фонды: в странах – членах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСД) в 90-е годы – в среднем на 3.4% в год против 2.2%. Из всего объема знаний, измеренных в физических единицах, которым располагает человечество, 90% получено за последние 30 лет, так же, как 90% из общего числа ученых и инженеров, подготовленных за всю историю цивилизации, – наши современники. Это наиболее явные признаки перехода от экономики, базирующейся на использовании природных ресурсов, к экономике, основанной на знаниях.

Однако вопрос о том, является ли экономика знаний новой эрой общественного развития, пришедшей на смену аграрной и индустриальной эпохам, остается дискуссионным. Ряд экспертов считает, что экономика знаний существенно отличается от экономики индустриального типа, когда накопление богатства было связано с материальными активами. По мнению других, это всего лишь следующая фаза индустриальной эпохи, благосостояние по-прежнему определяется производственными процессами, а нематериальные активы повышают конкурентоспособность, не более.

Так или иначе, знания – вещь нешуточная, они переворачивают экономическую картину мира. Вот несколько примеров. Всем известна электронная

* В подготовке доклада принимали участие А.Е. Варшавский, А.Н. Козырев, Л.Э. Миндели, С.Б. Перминов, А.И. Терехов.

игра “Тетрис”. Ее придумал программист Вычислительного центра Академии наук Пажитнов, и она принесла ему лично 15 тыс. долл. Вычислительный центр, продав права на распространение игры фирме “Nimtanda”, получил 4 млн долл., фирма же – свыше 1 млрд долл. Другой пример – знаменитая фирма “Microsoft”. Ее рыночная стоимость оценивается в 350–400 млрд долл., стоимость по прибыли – 50–70 млрд, а бухгалтерская стоимость всего 5–10 млрд. Россия только еще вступает в эту область, но и у нас есть примеры высокотехнологичного бизнеса, в капитализации которого доля знаний преобладает. Рыночная стоимость российской фирмы “Paragraph International” составляет 40 млн долл. при бухгалтерской стоимости 1 млн долл.

ИЗМЕРЕНИЕ ЭКОНОМИКИ ЗНАНИЙ

Наука, исследующая экономику знаний, переживает период накопления информации, постепенно переходя к первичной ее обработке. Проблема состоит в отборе и правильной систематизации огромного объема данных.

Измерение знаний – методологически очень тонкая вещь, поскольку знания – это продукт, с одной стороны, частный, который можно присваивать, а с другой – общественный, принадлежащий всем. Поэтому сложились два подхода к измерению знаний: по затратам на их производство и по рыночной стоимости проданных знаний. Затраты включают расходы на исследования и разработки, на высшее образование, на программное обеспечение. По этому показателю Россия очень существенно отстает от США и стран OECD.

Как известно, на настоящем этапе развития человеческой цивилизации в качестве интегрального показателя экономического развития чаще всего используется показатель валового внутреннего продукта (ВВП). В его основе – идея о том, что нужный продукт – это тот, который кем-то куплен. Цена, по которой продукт куплен, является истинной оценкой его полезности. Акт купли-продажи принципиален. ВВП показывает, сколько нужных обществу продуктов произведено за определенный промежуток времени.

Однако этот подход дает сбой на продуктах, которые называются общественными (публичными) благами, поскольку они потребляются бесплатно или по ценам, не соответствующим их реальной ценности для человека. Поэтому производство и потребление общественных благ отражается в ВВП (и системе национальных счетов) не по акту покупки, а по произведенным затратам, что коренным образом противоречит идее, заложенной в основу измерения результатов экономической деятельности.

Знания, по крайней мере значительная их часть, являются общественным благом. Измерение их ценности, исходя из затрат, дает искаженную картину: затраты государства на науку отнюдь не есть стоимость произведенных знаний. Значит, нужно научиться измерять спрос на знания.

Для знания как публичного блага акт признания состоит в его использовании в той или иной форме. Степень его использования может быть разной: обращение к нему, запрос; ознакомление с ним; запоминание, способность его воспроизвести и передать другому; наконец, производство нового знания на базе использованного. Акт потребления знания состоит, как минимум, в осуществлении запроса. Запрос есть проявление интереса, готовность к более детальному “потреблению”.

Спрос и только спрос определяет, жить или не жить знанию дальше. Как это, быть может, ни печально, нет ни малейших сомнений в том, что огромное число идей, открытий, изобретений и других произведенных людьми знаний исчезло, по-настоящему не родившись. То же самое можно сказать и о потенциальных гениях человечества.

Эксперименты, проведенные на компьютерной модели, которая имитирует действия участников экономики знаний, показывают, что ее эффективность предполагает соблюдение некоторого оптимального соотношения между всеми категориями действующих лиц. Количество знаний принимается равным числу людей, суммарно потребивших все виды знаний. Таким образом, экономика знаний дает тем больший объем продукции, чем, с одной стороны, больше знаний создано учеными, и, с другой стороны, чем больше людей потребили эти знания. То есть важна и работа ученых, и работа людей, которые доводят знания до конечного потребителя. Каково оптимальное соотношение между ними, может быть установлено экспериментально.

В настоящее время особое внимание начинает уделяться человеческому капиталу, созданию такой инфраструктуры, которая позволила бы использовать накопленные опыт и знания в производстве и потреблении. Соответственно этим задачам, а также для исследования новых процессов и явлений формируется система индикаторов, отражающих уровень развития сектора повышенного спроса на знания и в целом экономики, основанной на знаниях. В качестве положительного примера можно привести предложенную OECD систему индикаторов, которая позволяет сопоставить уровень и динамику развития стран-участниц этой организации. В составе этой системы можно выделить следующие группы индикаторов:

- развитие высокотехнологичного сектора экономики, его удельный вес в продукции обрабатывающей промышленности и услугах; инновационная активность;
- размер инвестиций в сектор знаний (общественный и частный), включая расходы на высшее образование, научные исследования и опытно-конструкторские разработки, а также в разработку программного обеспечения (сейчас расходы на эти цели в странах OECD составляют в среднем 4.7% ВВП, а с учетом всех уровней образования – свыше 10%);
- разработка и выпуск информационного и коммуникационного оборудования, программного продукта и услуг (вложения в инфокоммуникационные продукты и технологии возросли с 15% от инвестиций в производство в начале 1980-х годов до 35% в 1999 г., причем инвестиции в программное обеспечение (ПО) составили 25–40% от вклада инфокоммуникационного сектора в рост инвестиций в целом);
- рост численности занятых в сфере науки и высоких технологий (в 1999 г. в странах OECD насчитывалось около 38 млн человек, 25% трудовых ресурсов, занятых высококвалифицированным трудом в данной сфере);
- объем и структура венчурного капитала, который пока сохраняет роль основного источника финансирования новых высокотехнологичных фирм (его доля во второй половине 1990-х годов составляла 0.21% ВВП в США и 0.16% ВВП в Канаде и Нидерландах);
- участие частного капитала в финансировании НИОКР (в большинстве стран OECD его доля в 1990-е годы возросла, в частности, в странах ЕЭС с 52% до 55%, в США с 57% до 67%);

- структура расходов на НИОКР по стадиям научных исследований (в большинстве стран расходы на фундаментальные исследования возросли по сравнению с 1980 г. как в абсолютном, так и в относительном выражении) и по направлениям (в странах OECD доля расходов на военные НИОКР снизилась, в то время как повысилась доля расходов на НИОКР в области здравоохранения, биотехнологий и инфокоммуникационных технологий);

- межстрановые потоки знаний, а также международное сотрудничество в области науки и инноваций (в середине 1990-х годов в странах OECD 27% научных публикаций были международными);

- усиление кооперации между фирмами, научно-исследовательскими организациями и университетами;

- межстрановой обмен результатами изобретательской деятельности (14% полученных в странах OECD патентов приобретено иностранными резидентами, одновременно страны OECD приобрели около 15% патентов, полученных за рубежом);

- мобильность ученых и инженеров, особенно высокой квалификации, а также студентов, уезжающих учиться в США, Англию, Германию и другие страны (в Англии более 10% студентов – иностранцы);

- увеличение объема финансовых операций, в том числе потоков прямых иностранных инвестиций;

- распространение инфокоммуникационных технологий, широкое использование персональных компьютеров, определяющий вклад инфокоммуникационного сектора в рост числа рабочих мест и занятости (в 2000 г. в Швеции персональные компьютеры имелись в 60% домохозяйств, в Дании – в 65%; в этих же странах более половины взрослого населения использует Интернет, соответственно, 68% и 62%);

- доля высокотехнологичных отраслей обрабатывающей промышленности и высокотехнологичных услуг (доля валовой добавленной стоимости отраслей высоких технологий высокого и среднего уровня в ВВП в конце 1990-х годов была особенно высокой в Ирландии – свыше 16%, Южной Кореи – 12.6%, Германии – 11.7% и Японии – 10.7%);

- уровень развития рыночных услуг с повышенным спросом на знания (в странах OECD – около 18% ВВП, а вместе с нерыночными – образованием и здравоохранением – примерно 29%);

- возрастание доли высокотехнологичной продукции в товарообмене между странами, положительное сальдо ведущих стран в торговле высокотехнологичной продукцией;

- ускорение патентования результатов новых разработок и изобретений в области высоких технологий.

Экономику, основанную на знаниях, можно охарактеризовать двумя путями. Во-первых, со стороны входа, то есть на основе оценки общего объема затрат (суммарных инвестиций) на развитие ее базового сектора, в котором вырабатываются и распространяются новые знания; во-вторых, со стороны выхода, то есть оценивая вклад по валовой добавленной стоимости отраслей, которые в основном и потребляют новые знания; здесь возможно рассмотрение нескольких концентрических, постепенно расширяющихся областей: от так называемых высокотехнологичных отраслей высшего уровня (high technologies) или ведущих высоких технологий (leading edge), включающих также отрасли оборонной промышленности, к высоким технологиям средне-

го уровня (medium high technologies) и затем к сфере высокотехнологичных услуг; при расширенной трактовке сектора повышенного спроса на новые знания и технологии дополнительно учитываются также образование и здравоохранение, а иногда – культура и управление.

Оценка соответствующих показателей позволяет рассчитать следующие наиболее важные индикаторы: уровень поддержки сектора знаний, определяемый относительно мирового уровня или уровня наиболее передовых стран; уровень использования знаний в экономике России, также определяемый относительно мирового уровня или уровня передовых стран; сбалансированность развития экономики знаний. Соотнеся затраты на входе, то есть на научные исследования и образование, и получаемый эффект на выходе, то есть вклад потребителей знаний – отраслей повышенного спроса на знания в ВВП, можно оценить сбалансированность развития экономики знаний. Показатель сбалансированности должен находиться в определенных границах: не быть чрезмерно низким (в этом случае затраты на производство и распространение знаний неэффективны) или слишком высоким (последнее свидетельствует о том, что в стране либо не развита сфера НИОКР и образования, либо не выделяются ресурсы на их развитие, а накопленный ранее научный потенциал эксплуатируется, что сейчас наблюдается в России). Соотношение между показателями различного уровня на выходе позволяет оценить внутреннюю сбалансированность сектора отраслей повышенного спроса на знания.

Рассмотрим оценки конкретных показателей. Переход к экономике, основанной на знаниях, сопряжен с ростом суммарных инвестиций в соответствующий сектор. Как уже было сказано, в настоящее время объем финансирования этой сферы рассчитывается как сумма расходов на НИОКР, высшее образование (из частных и государственных источников) и программное обеспечение. Однако при прямом суммировании этих трех составляющих оценка завышается из-за двойного счета: расходы на ПО включаются в расходы на НИОКР и образование, а расходы на НИОКР и образование взаимно перекрываются. Поэтому обычно часть расходов на ПО рассматривается не как инвестиции, а как потребление (покупка пакетов ПО домохозяйствами и оперативными службами на фирмах) и исключается вместе с расходами на ПО при проведении НИОКР из общих расходов на программную продукцию (расходы на ПО в образовании не выделяются из-за трудности их оценки).

В применении к России, где исследования сектора знаний только начинаются и где они затруднены из-за сложностей переходного периода и ослабления системы государственной отчетности, могут использоваться некорректированные, несколько завышенные оценки. Пока вследствие широкого распространения импортного программного обеспечения, как правило, “пиратской продукции”, ошибки, по-видимому, не очень велики.

Сопоставление данных о затратах на входе сектора знаний в странах OECD и России для двух вариантов выбора отраслей (только высшее образование и все уровни образования) показывает, что относительно ВВП у нас выделяется в первом случае в 3 раза, а во втором в 2.1 раза меньше ресурсов, чем в среднем в указанных странах (табл. 1). В сравнении с США, Швецией, Южной Кореей Россия проигрывает еще больше.

Как следует из данных таблицы 2, в конце 1990-х годов наиболее высокой доля добавленной стоимости высокотехнологичных отраслей высшего и среднего уровня в ВВП была в Германии (11.7%) и Швейцарии (11.5%),

Таблица 1
Инвестиции в отрасль знаний, % ВВП

Сектор отрасли	В странах OECD	В России
Высшее образование, научные исследования и опытно-конструкторские разработки, разработка программного обеспечения	4.7	1.6
Все уровни образования, включая высшее, научные исследования и опытно-конструкторские разработки, разработка программного обеспечения	>10	4.7

с учетом телекоммуникации, финансовых, страховых и деловых услуг, включая НИОКР, – в Германии (31.0%), США (30.0%), Великобритании (28.1%), наконец, с учетом образования и здравоохранения суммарная доля валовой добавленной стоимости в ВВП может превысить 40%. Таким образом, по использованию знаний Европа опережает США. Что касается России, то следует обратить внимание на тот факт, что, несмотря на значительный спад в промышленности, ситуация в области высоких технологий заметно лучше, чем по более широкому кругу отраслей.

Наконец, расчет показателей сбалансированности развития экономики знаний, а также внутренней сбалансированности сектора отраслей повышенного спроса на знания свидетельствует, что здесь Россия существенно отстает от развитых стран и близка по уровню к Мексике: сектор высокотехнологичных, финансовых и других видов услуг развит слабо, затраты на НИОКР низки. В среднем показатели внутренней сбалансированности для России хуже, чем у наиболее развитых стран примерно на 30%.

Соотношение между показателями на входе и выходе подтверждает, что в настоящее время в стране недооценен труд занятых в науке и образовании, финансирование этих отраслей приближается к уровню стран с невысоким научно-техническим и образовательным потенциалом.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКОНОМИКИ ЗНАНИЙ

Экономика знаний имеет три принципиальные особенности. Первая – *дискретность знания* как продукта. Конкретное знание либо создано, либо нет. Не может быть знания наполовину или на одну треть. Вторая особенность состоит в том, что знания, подобно другим общественным (публичным) благам, будучи созданными, *доступны* всем без исключения. И, наконец, третья особенность знания: по своей природе это *информационный продукт*, а информация после того, как ее потребили, не исчезает, как обычный материальный продукт.

Свойство дискретности знания вызывало сомнения, что в применении к нему рыночный механизм может быть столь же эффективным, как в случае с традиционными продуктами. Недавние работы показывают, что основные результаты, полученные для делимых продуктов, при достаточно общих и реалистичных условиях оказываются верными также и для дискретных продуктов типа знаний или крупных инвестиционных проектов.

Вторая и третья особенности имеют своим следствием то, что в рыночной экономике распространители знаний оказываются в своеобразном, в некото-

Таблица 2

Вклад отраслей повышенного спроса на знания в ВВП
(доля добавленной стоимости в ВВП), %

Страна	Год	Высокотех- нологичные отрасли выше- го и среднего уровня	Телекомму- никационная связь	Финансовые услуги и услуги по стра- хованию	Деловые услу- ги, включая НИОКР	Итого	Образование и здравоохра- нение	Всего
США	1998	8.5	3.4	8.3	9.8	30.0	11.6	41.6
Япония	1998	10.7	1.9	5.2	7.0	24.8	—	—
Франция	1998	7.4	2.1	4.7	12.3	26.4	11.7	38.1
Германия	1998	11.7	2.4	4.8	12.1	31.0	10.3	41.2
Италия	1998	7.2	2.1	6.0	7.9	23.3	9.5	32.8
Португалия	1997	4.4	2.9	5.8	—	—	11.9	—
Испания	1998	6.4	2.7	5.3	5.5	19.9	10.1	30.1
Швеция	1998	10.0	2.8	3.5	8.5	24.8	—	—
Великобритания	1998	8.1	2.8	5.9	11.2	28.1	11.6	39.8
Южная Корея	1998	12.6	2.3	7.0	4.2	26.1	7.8	33.9
Мексика	1998	8.3	1.5	3.0	5.7	18.5	8.7	27.1
Швейцария	1998	11.5	2.7	14.3	7.5	36.0	—	—
Страны ЕС	1998	8.4	2.4	5.3	10.0	26.1	10.9	37.0
Страны OECD	1998	8.8	2.7	6.5	9.0	27.0	—	—
Россия	1999–2000	5.0	1.6	3.0	1.8	11.4	5.0	16.4
Страны ЕС/Россия		1.68				2.29		2.26
Страны OECD/Россия		1.76				2.37		

ром смысле монопольном, положении. Какую бы цену они ни назначили на свой продукт, невозможно продать максимальное количество “копий знания”. Стремление же продать побольше вполне естественно, тем более что копия практически ничего не стоит (затраты на копирование чрезвычайно малы). Если назначить высокую цену, покупателей будет мало. При низкой цене покупателей будет много, но выручка может оказаться меньше, чем при высокой цене. В ряде работ показано, что в экономике знаний традиционный рыночный механизм не приводит к эффективным состояниям. Эффективность достигается тогда, когда используются так называемые *дискриминационные цены*, то есть цены, рассчитанные на конкретного потребителя (категорию потребителей).

Использование дискриминационных цен требует большего профессионализма, чем использование обычных цен. Дискриминацию надо уметь правильно вводить. Опыт рыночного предоставления продуктов типа знаний и информации постепенно накапливается в разных странах применительно к разным типам продуктов. Особенно распространены дискриминационные цены на рынке статистической информации и программного обеспечения. Замечу, что в традиционной экономике дискриминационные цены осуждались (Дж. Робинсон) и даже законодательно запрещались, поскольку они являются способом получения сверхприбылей монополиями.

Как известно, на стандартном совершенном рынке конкуренция приводит к снижению цен до предельных издержек. На рынке знаний цены выше предельных издержек. Ценообразование на рынке компьютерных программ демонстрирует, насколько тонким может быть этот механизм. Продавец программ, стараясь получить максимальную прибыль, вынужден обеспечивать своей продукцией максимальное число пользователей. Система дискриминации по времени покупки, по юридическому статусу покупателя (коммерческая фирма, правительственная структура, университет, церковь), усложнение самого продукта (версии программы, система upgrade, подписка, пакетное обслуживание) в конечном счете приводят к максимальному удовлетворению потребностей в знаниях и информации. При этом еще и решается проблема качественного предоставления товара, то есть экономическим методом искореняется распространение пиратских копий. Впрочем, вопрос о пиратских копиях остается спорным. Некоторые потребители предпочитают менее качественные, но дешевые копии. Существование нелегального бизнеса по продаже пиратских копий объективно приводит к более широкому распространению знаний и информации, тем самым к лучшему удовлетворению потребительского спроса. Видимо, развитие данного рынка пока находится на той стадии, когда наличие нелегального сектора является позитивным. В процессе совершенствования рынка этот сектор будет сокращаться и в перспективе сойдет на нет, поскольку его функционирование станет неэффективным.

Чрезвычайно широким и одновременно тонким инструментом регулирования отношений собственности в сфере так называемых неосязаемых (intangible) благ, к которым относятся знания, является *авторское право*. Наряду с регулируемым законодательно, действует и так называемое неформальное авторское право. Мировое научное сообщество пристально следит за тем, чтобы оно не нарушалось. Воровство научных результатов строго осуждается, в какой бы завуалированной форме оно ни осуществлялось. В таком контексте авторское право тесно связано с понятием *репутации*. Репутация в научной сфере в чем-то сродни производственной мощности

предприятия, хотя, конечно, является более сложным и многоаспектным понятием. Репутация получает рыночную оценку, в частности, в форме уровня заработной платы ученого, а также спроса на его труд.

Перечисленные особенности экономики знаний обуславливают ее существенные отличия от стандартной рыночной экономики по действующим закономерностям и механизмам. И это затрудняет построение теории.

Важное обстоятельство: экономика знаний – неразделимая *триада рынков* – рынка знаний, рынка услуг и рынка труда. Их нельзя рассматривать изолированно, настолько тесно они друг с другом взаимодействуют, из чего вытекает много следствий и что должно быть осознано людьми, которые принимают решения в данной области.

Сейчас готовится Указ Президента РФ об охране интеллектуальной собственности. Надо сказать, что Президент прямо указал на необходимость рассмотрения всей проблемы в комплексе. Однако сейчас большим препятствием является взаимодействие правительственных органов: надо, чтобы в унисон работали и Минпромнауки, и Минюст, и Минтруда, и Академия наук, и даже МВД.

В данном контексте нельзя не упомянуть о так называемом *неотделимом*, или неявном, *знании* (tacit knowledge). Это очень тонкое понятие: речь идет о том знании, которое невозможно отделить от его носителя – индивида или научного, конструкторского, производственного коллектива. Есть мнение, что доля накопленного неотделимого знания у россиян выше, чем у представителей других стран, и это может стать нашим конкурентным преимуществом. Но коллективы легко уничтожить. И сейчас мы являемся свидетелями того, как разрушаются выдающиеся коллективы, которые создавали, например, крупные системы вооружений. Тем самым разрушается неотделимое знание, которое потенциально стоит миллиарды долларов.

УПРАВЛЕНИЕ ЗНАНИЯМИ

В современном обществе нужно достигнуть понимания того, что сектор знаний есть *машина по решению проблем*. Поток проблем разнообразен и интенсивен, поэтому организация сектора знаний, отвечающая этому вызову, должна быть гибкой, динамичной, быть именно экономикой. Но тогда нужен особый тип специалиста, так называемый *инновационный менеджер*. Он должен нутром чувствовать прорывное направление. Уже есть люди, которые становятся миллионерами, даже миллиардерами, работая в этой сфере, но пока не у нас. У нас эта профессия только зарождается.

В качестве примера прорывного направления можно привести фуллерены. Хотя Нобелевская премия присуждена не нам, но 7% мирового потока публикаций в области фуллеренов – российские, причем основной вклад вносит Академия наук. Данное направление сулит очень много. Но нужны инновационные менеджеры, которые знают, как превращать фундаментальное знание в деньги.

Следует, однако, учитывать, что эпохе экономики, основанной на знаниях, соответствует иная, по сравнению с привычной, социальная структура. Мы привыкли к разделению труда между производителями и потребителями знания при участии посредника. Сейчас возникает новая система, в которой потребитель знания участвует в его создании. Рынок продуктов (знаний) за-

меняется рынком услуг. А это предполагает иную институциональную среду, создание вокруг крупных компаний многочисленных мелких инновационных фирм, которые получают заказы от “материнской” компании. Так действует большинство американских гигантов, например “Дженерал моторс”, вкладывающий десятки миллиардов долларов в исследования и разработки.

В России, к сожалению, этого пока нет. Крупнейшие российские компании должны быть игроками в экономике знаний, создавать новую среду, симбиоз производства и потребления знаний. Тем самым будет обеспечиваться спрос на знания. И здесь принципиальна роль государства. Без участия государства спрос на знания организовать не удастся.

Учитывая эту нарождающуюся новую ситуацию, определенные выводы для себя должна сделать и Российская академия наук. Ведь можно рассматривать нашу академию как своего рода крупную компанию. Ее тоже следует окружить мелкими инновационными фирмами, которые создадут спрос. Необходимы и новые формы менеджмента в институтах, назрело разделение функций директора на функции научного руководителя и исполнительного директора, как это принято во многих западных странах, организация отделов, которые занимались бы зарабатыванием денег.

Гигантским рыночным ресурсом Академии наук является ее репутация. Представители власти, которые ее финансируют, должны это понимать. В экономике знаний оплата репутации – уже аксиома.

* * *

В заключение хотел бы сказать о главных уроках становления экономики, базирующейся на знаниях, для России. Прежде всего это необходимость изменения массового сознания. Нужно убеждать людей, что богатство в мозгах, а не в недрах. Хотя в нашем народе очень сильна уверенность в том, что мы богатая страна, потому что у нас полно нефти, газа, пресной воды, наконец. Надо разъяснять, что мы не будем жить достойно, пока не научимся продавать знания.

Повторюсь, но это важно и в этом нужно убедить руководителей всех уровней: сектор знаний – решатель проблем за деньги.

Далее, наши крупные компании должны стать игроками в экономике знаний, научиться создавать вокруг себя и патронировать малый инновационный бизнес. А обязанность государства – создать благоприятную правовую, налоговую и организационно-экономическую среду для развития экономики знаний. Российская академия наук стоит во главе этого всенародного движения “Вперед к обществу знания”.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА Ю.С. ОСИПОВА

Мне очень нравится лозунг из доклада академика В.Л. Макарова, цитирую: “Организация спроса на знания – прямая функция государства”. Такая постановка вопроса имеет принципиальное значение не только с точки зрения становления экономики знаний, но и с точки зрения прогресса науки в стране. В последнее время нас, людей науки, пытаются обвинить в том, что инновационная экономика развивается слишком медленно и неэффективно.

Я всегда утверждал и продолжаю утверждать, что если перенести центр тяжести нашей деятельности с создания новых знаний на производство конечных коммерческих продуктов, российская наука на этом закончится. Нужно ясно это понимать. К сожалению, такого понимания во властных структурах мы зачастую не находим. Правда, на прошедшем в декабре в Московском университете съезде ректоров высших учебных заведений Президент В.В. Путин вполне определенно сказал, что фундаментальная наука должна поддерживаться государством и что создание исследовательских университетов не будет означать сокращения финансирования Академии наук. Тем не менее неудачи в развитии инновационной экономики пытаются свалить на людей, занимающихся наукой.

Все последние десять лет мы говорим о том, что вокруг академии нужно создать “инновационный пояс” – сеть наукоемких фирм, которые могли бы делать бизнес, создавать конкретные продукты на основе знаний. И в этом отношении сделано немало. Есть институты, которые платят налоги с такой деятельности, равные по величине и даже превосходящие те средства, которые они получают из государственного бюджета на содержание институтов. Спрос на знания должны формировать не столько инновационные фирмы, сколько прежде всего государство.

В докладе предлагалось включить в Устав РАН положение об образовательной деятельности академии. Но такое положение в Уставе есть. Другое дело, что в Законе о науке и государственной научно-технической политике не сказано, что академиям, имеющим государственный статус, предоставляется право заниматься образовательной деятельностью. После принятия закона мы пытались решить эту проблему, но безуспешно. Однако недавно у меня состоялся разговор с министром образования В.М. Филипповым. Он согласился с идеей создания академических университетов. Первым таким учебным заведением должен стать Новосибирский государственный университет, затем, возможно, Московский физико-технический институт. Хотя бюрократические преграды сохраняются. Ранее Президиумом РАН было принято постановление об организации подобного университета в Санкт-Петербурге. Это постановление противоречит действующим законам, но мы решили создать прецедент, а теперь есть и согласие министра образования.

Вот уже несколько лет мы обсуждаем идею создания ассоциации академических университетов и университетов, которые тесно с нами сотрудничают. Мы предлагали открыть двери академических институтов и лабораторий для преподавателей и студентов этих университетов, одновременно открыв университеты для наших сотрудников. Поначалу не удалось найти понимания в Министерстве образования. Но сейчас, похоже, недопонимание преодолевается.

Что касается предложения о введении должности исполнительного директора в институтах академии наряду с должностью научного руководителя, то я не стал бы “стричь всех под одну гребенку”. У нас уже есть институты, где работают директора-менеджеры, некоторым институтам было бы полезно такого директора иметь, особенно если есть ориентация на инновационную деятельность.

Теперь о гибком финансировании. Мне понравилась высказанная академиком В.Л. Макаровым мысль о том, что базовое финансирование – это фактически плата за репутацию института. Все мы согласны с тем, что такое

финансирование академических институтов должно сохраняться. Гибкая система предполагает использование всевозможных грантов, а также государственных и иных заказов. Мы хотим, чтобы наука, в том числе фундаментальная, имела госзаказ, не раз ставили этот вопрос перед правительством, перед Министерством экономики, использовали средства массовой информации для его обсуждения. Например, в “Известиях” была опубликована наша с С.М. Роговым статья, в которой речь шла о создании национальной инновационной системы. Но, к сожалению, никаких комментариев со стороны властных структур не последовало.

Я считаю, что поднимается вопрос исключительной важности, и поддерживаю идею провести обсуждение этого вопроса с приглашением представителей Правительства РФ, Администрации Президента, деловых кругов. От того, как будет решаться проблема построения экономики, основанной на знаниях (инновационной экономики), зависит судьба науки, судьба Академии наук, потому что наука может полноценно развиваться лишь в том случае, если она будет элементом реальной экономики.

Я обращаюсь к Отделению общественных наук, к секции экономики, ее руководителю академику Д.С. Львову с предложением подготовить серьезную аналитическую записку для Совета по науке при Президенте РФ о стимулировании процесса становления экономики, основанной на знаниях.

В заключение не могу не сказать о той радости, которую я испытываю от того, что мы, наконец, смогли вновь провести научную сессию Общего собрания Академии наук. Этой сессии предшествовали научные сессии отделений, в том числе региональных. Были продемонстрированы очень интересные, выдающиеся результаты, полученные в последние годы. Это вдохновляет.

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Заслушав и обсудив доклады по научным проблемам “Наноструктуры и нанотехнологии” и “Экономика знаний: уроки для России” Общее собрание Российской академии наук ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Президиуму Российской академии наук включить программу фундаментальных исследований по наноструктурам и нанотехнологиям в Перечень общеакадемических программ фундаментальных исследований Российской академии наук в 2003 году.

2. Отделению общественных наук РАН до 14 января 2003 г. подготовить аналитическую записку по научной проблеме “Экономика знаний: уроки для России” для представления в Правительство Российской Федерации и в Совет при Президенте Российской Федерации по науке и высоким технологиям.

*Президент
Российской академии наук
академик Ю.С. ОСИПОВ,
главный ученый секретарь
Президиума Российской академии наук
академик В.В. КОСТЮК*

**СЕССИЯ СОВМЕСТНОГО
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
И РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
МЕДИЦИНСКИХ НАУК**

“Наука – здоровью человека”

16–18 декабря 2003 года

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА Ю.С. ОСИПОВА

“Наука – здоровью человека” – так обозначена тема нашей научной сессии. Эта тема весьма многогранна, и конечно, в рамках одной сессии невозможно рассмотреть все ее аспекты. Мы ограничимся наиболее общими вопросами, имея в виду продолжить обсуждение.

Состояние здоровья населения России вызывает серьезную тревогу. Высокая смертность, низкие рождаемость и продолжительность жизни, широкое распространение инфекционных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, психических расстройств усугубляются угрозой эпидемий и биотерроризма, разрушением духовного здоровья нации, деградацией среды обитания. Очевидно, что улучшение здоровья населения путем совершенствования социальной сферы и повышения уровня медицинского обслуживания – важнейшая государственная задача.

В этой аудитории вряд ли имеет смысл развивать тезис о том, что современная медицина опирается на достижения широкого спектра наук: математических, естественных, гуманитарных, технических. В свою очередь, медицинские проблемы представляют собой источник новых задач для фундаментальной и прикладной науки. Подобное взаимообогащающее сотрудничество чрезвычайно плодотворно. В поле нашего внимания должны быть и вопросы обеспечения населения продовольствием. Они не могут обсуждаться без участия наших коллег из Академии сельскохозяйственных наук, руководство которой принимает участие в работе сессии.

Здоровье человека – понятие многогранное, оно далеко не ограничивается физическим его состоянием. Не менее важны духовное здоровье, эстетическое и художественное развитие человека. Вот почему в нашей работе участвует и Российская академия художеств. В будущем вопросам духовного здоровья нации предполагается уделить больше внимания.

Важнейшей организационной формой широкомасштабного сотрудничества наших академий в области здоровья человека могла бы стать соответствующая федеральная программа. Идея такой программы не нова: более 20 лет назад президент АН СССР академик А.П. Александров, министр здравоохранения СССР академик Б.В. Петровский и президент АМН СССР академик Н.Н. Блохин инициировали реализацию подобной программы, и она принесла ощутимые результаты. Думаю, в новых условиях осуществление программы способствовало бы объединению наших усилий в решении задач, связанных со здоровьем человека.

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА РАМН АКАДЕМИКА В.И. ПОКРОВСКОГО

Прежде всего хочу искренне поблагодарить Президиум Российской академии наук за проявленную инициативу и большую организационную работу по подготовке совместного Общего собрания членов наших академий для обсуждения крупнейшей проблемы, имеющей стратегическое значение, “Наука – здоровью человека”.

Мы не сразу пришли к согласию по повестке дня нашего Общего собрания. Высказывались разные мнения относительно программы сессии, тем основных докладов. Однако убежденность в необходимости обсуждения ведущими учеными страны важнейших проблем медицины и привлечения к их решению всех научных сил страны позволила достичь полного взаимопонимания.

Члены Российской академии медицинских наук высоко ценят огромный вклад Российской академии наук в решение многих вопросов теоретической и практической медицины. Принципиальные прорывы в медицине, как известно, всегда основывались на фундаментальных разработках, будь то открытие рентгеновских лучей, антибиотиков, двойной спирали ДНК, достижения микробиологии, определение генома человека и т.д. Прогресс современной медицины также непосредственно связан с прогрессом физики, химии, биологии, приборостроения, информатики. Например, открытие лазера – это физика, выяснение и объяснение влияния лазерного излучения на организм – это теоретическая медицина, а лазерная хирургия – это практическая медицина.

Величайшим достижением ушедшего века является секвенирование генома человека. Вряд ли можно переоценить его значение, оно еще много лет будет определять развитие как фундаментальных, так и прикладных наук. Постгеномная эра очертила новые направления науки и прежде всего протеомику, разработкой которой заняты ученые РАН, РАМН и других ведомств.

Если в прошлом тематика научно-исследовательских институтов и особенно кафедр вузов во многом определялась наличием того или иного прибора, который удавалось раздобыть, то сейчас преобладает концептуальный подход, что требует консолидации усилий институтов разного профиля. Так, в научном обосновании концепции государственной политики в области здорового питания участвуют более 30 институтов РАН, РАМН, РАСХН, Минпромнауки и Минздрава России.

Современный уровень исследований предполагает использование сложнейших приборов, часто выпускаемых в единичных экземплярах. К сожалению, зачастую это импортные приборы и оборудование. Разрабатываемые у нас в стране высокоточные приборы в основном доводятся до стадии опытного образца и не доходят до большинства научно-исследовательских учреждений. Отечественная промышленность не может пока обеспечить современный технический уровень научных исследований, что еще раз подтверждает необходимость объединения усилий.

Многие институты РАН и РАМН взаимодействуют на двусторонней основе. Особенно это относится к нашим так называемым клиническим

институтам, которые превратились в мощные центры фундаментальных исследований жизнедеятельности человека. По-видимому, более эффективным могло бы оказаться сотрудничество на уровне академий или в рамках единой программы “Наука – здоровью человека”, о которой уже говорил академик Ю.С. Осипов. Следует подумать и о создании межакадемического Совета по медицине.

В марте 2002 г. Президент России В.В. Путин утвердил приоритетные направления развития науки, технологий и техники, а также перечень критически важных для страны технологий. Академия медицинских наук активно включилась в выполнение поставленных задач после проведения в апреле 2002 г. Общего собрания РАМН на тему “Медицинские проблемы биобезопасности”.

Одной из главных задач деятельности РАМН является ее активное влияние на развитие медицинской науки и уровень практического здравоохранения в России. Для решения медицинских проблем отдельных регионов академия, при поддержке администраций субъектов Федерации, создает региональные научные центры, которые функционируют под ее научно-методическим руководством, а финансируются из средств субъекта Федерации. Эта политика полностью себя оправдала. Однако, к огромному сожалению, в сложной социально-экономической обстановке достижения науки не позволили существенно повлиять на состояние здоровья населения и демографические процессы.

Создалась парадоксальная ситуация: органы практического здравоохранения не могут покупать и внедрять новейшие технологии из-за отсутствия средств, в то время как медицинская наука в связи с этим не получает заказы на разработку новых технологий. В этих условиях чрезвычайно важно определить ведущие направления развития медицинской науки, сосредоточив внимание в первую очередь на профилактике. Прежде всего это здоровье матери и ребенка, репродуктивное здоровье населения, здоровье здорового человека, проблема здорового питания.

Система охраны и укрепления здоровья населения объединяет многие социальные функции, становится ядром социальной идеологии, особенно в том, что касается формирования здорового образа жизни. Жизнь постоянно ставит перед медицинской наукой новые задачи: возникают экологически обусловленные болезни, новые инфекции, возвращающиеся инфекции, наблюдается рост неврозов и психических заболеваний. Быстрое и более полное решение таких задач возможно только при условии сотрудничества медиков с представителями других областей науки. Большую роль в формировании здорового образа жизни, в доведении до сознания каждого человека мысли об ответственности за свое здоровье могут и должны играть средства массовой информации.

Убежден, что совместная научная сессия наших академий призвана сыграть существенную роль в развитии научных исследований, направленных на укрепление здоровья, трудоспособности и увеличение продолжительности жизни нашего народа.

ВЫСТУПЛЕНИЕ
ЗАМЕСТИТЕЛЯ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН Б.С. АЛЕШИНА

Разрешите поздравить вас от имени Правительства России со столь знаменательным событием. В последнее время подобные крупные форумы не так часты.

Надо сказать, что в социально-экономическом развитии мы выходим на новый виток. На наш взгляд, период выживания закончился. Теперь мы должны сосредоточиться на созидательных задачах. Всю деятельность правительства и государства следует направить на обеспечение здоровья, рост продолжительности и повышение уровня жизни людей, которая должна быть интересной, насыщенной, иметь перспективу на будущее.

Обсуждаемые сегодня проблемы необходимо рассматривать не только с точки зрения научных достижений, которые, безусловно, должны быть приняты практикой, промышленностью, обществом в целом. Нужно иметь в виду более эффективную организацию и доступность медицинской помощи для широких слоев населения. Нельзя, конечно, забывать и о духовном здоровье человека, о его возможностях развиваться, стремлении к творчеству.

Все мы знаем, что и в последние годы российская наука имела славные достижения. Однако хуже обстоят дела с использованием научных результатов, применением их в промышленности, на практике. Можно много говорить о сложных финансово-экономических условиях, в которых мы жили, но важнейшим элементом сегодняшней политики должен стать поиск решений, позволяющих преодолеть трудности последнего периода. На мой взгляд, важнейшая задача нынешней сессии состоит в поиске оптимального уровня взаимодействия фундаментальной науки и производства, уровня, который обеспечивал бы комфортную среду обитания человека.

Здесь говорилось о необходимости сформировать федеральную целевую программу. Безусловно, метод целевого планирования и программной реализации проектов оправдал себя. Однако в последние годы наметилась тенденция размывания целевого компонента программ. Мы продолжаем надеяться исключительно на бюджетные средства. Да, фундаментальная наука, безусловно, должна финансироваться из бюджета. Но применение ее результатов в промышленности – иное дело. Следует искать механизмы, побуждающие максимально адаптировать научные достижения к реальной жизни.

Хочу обратить внимание на то обстоятельство, что сейчас государство уже не испытывает столь жесткого, как прежде, дефицита средств, которые можно использовать на четко поставленные цели. Напротив, мы испытываем дефицит проектов, дефицит налаженных связей между фундаментальной и прикладной наукой, между наукой и производством, дефицит организационных возможностей. В советское время существовала безусловная связь между разработчиками и заказчиками, между академической и отраслевой наукой и промышленностью. Это организационное начало ориентировало на конечный продукт, поэтому было много успехов и хороших решений. Ныне промышленность, которая в прошлом в основном была ориентирована

на оборонный сектор, утратила способность воспринимать результаты гражданских разработок. Нужно возродить и развить эту способность, поскольку не дело ученого – обеспечить весь цикл – от новой идеи до внедрения в производство нового изделия.

Хочу пожелать участникам нынешнего форума успехов и выразить надежду, что вам удастся выработать конструктивные предложения правительству, которые можно было бы совместными усилиями реализовать.

ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ РОССИИ

Академик РАМН Ю.Л. Шевченко

Проблема охраны здоровья человека, ее социальные, медицинские, нравственные, психологические аспекты давно волнуют умы великих просветителей, ученых и государственных деятелей. Здоровье населения всегда рассматривалось как показатель благополучия нации, как системообразующий фактор, который увязывает культуру, экономику, экологию, просвещение, политику, био- и ноосферу.

В середине прошлого столетия в нашей стране были впервые законодательно закреплены права граждан на охрану здоровья. Компоненты этой стратегии стали примером для других стран, в сравнении с которыми отечественные санитарные нормы и гигиенические стандарты и сегодня выглядят более строгими. Вместе с тем уже тогда в отрасли стали накапливаться концептуальные проблемы, негативно влияющие на состояние общественного здоровья. Речь идет о болезнецентрическом устройстве системы здравоохранения, в котором диагностика и лечение болезней превалировали над профилактикой, над парадигмой активного сохранения и восстановления здоровья. Образ жизни населения в высокой степени определялся экологическим, социальным и психологическим дискомфортом. В стране отсутствовал идеал здоровья как смысл бытия и общественного престижа нации, что присуще цивилизованному обществу. Парадные декларации, закрытость истинной статистики здоровья населения, неразвитость и ничтожность экономических основ самой системы здравоохранения, недоступность современных медицинских технологий для большинства людей – все это говорит о том, что человек и его здоровье в тогдашнем нашем обществе не были ни нравственной, ни экономической ценностью.

В 1980-е годы в нашем государстве, по существу, сложился настоящий “культ” больных людей. Реализуя идеологию ложно понимаемого гуманизма, система здравоохранения была ориентирована исключительно на больных людей, которым адресовала почти все социальные и медицинские ресурсы. При этом решительно игнорировался тот факт, что болезнь в значительной мере является результатом несоблюдения как государством, так и самими заболевшими общеизвестных санитарно-гигиенических требований. Для нашего образа жизни вообще характерно достаточно безответственное отношение к соблюдению гигиенических нормативов. Более 100 тыс. научно обоснованных стандартов для всех отраслей хозяйства выполняются

лишь на 30–40%. Тем не менее и сегодня вся ответственность за здоровье нации возлагается на медиков. Но ведь ясно, что не медики, не здравоохранение, а социальные условия, уровень жизни определяют степень здоровья населения.

Что важно и что главное для любого государства в части создания системы охраны здоровья? Прежде всего – сохранение здорового поколения. По этому показателю мы достигли критической убыли численности населения: в стране впервые за послевоенную историю развилось состояние депопуляции. Ее причины – в долговременной тенденции популяционных процессов. Это и последствия человеческих утрат в ходе двух мировых войн, гражданской войны, репрессий, голода и других социальных потрясений, выпавших на долю нашего народа. Это и продвижение страны к простому характеру воспроизводства населения с доминированием одно-двухдетных семей. Это и приспособление к новым социально-этическим и экономическим ценностям в сжатые сроки, что превышает физиологические адаптивные способности человеческого организма.

Итогом стало возрастание стрессогенной патологии (прежде всего алкоголизм, депрессии, острые расстройства коронарного и мозгового кровообращения). Вдумаемся: ежедневно на больничных койках пребывают около 2 млн наших сограждан. В России ежегодно регистрируются до 50 млн случаев инфекционных заболеваний. Прямые и косвенные потери составляют более 50 млрд руб. Наблюдается активизация природно-очаговых заболеваний. В масштабах, угрожающих безопасности всего мира, распространяется ВИЧ-инфекция. Не менее остра эпидемическая обстановка по гемоконтактным вирусным гепатитам. В России в последние 10 лет уровень заболеваемости гепатитом В возрос в два раза. Все это становится не только важной медицинской и социально-экономической, но и поистине государственной проблемой.

Важный показатель – здоровье подрастающего поколения. Его динамика неутешительна: 65% школьников имеют существенные отклонения в состоянии здоровья; более 80% призывников не могут выполнять элементарные нормы физической подготовки. Особенно тревожат отрицательные последствия достижений цивилизации для здоровья школьников. Перегрузка детей учебными материалами просто ошеломляет: от 3-кратного превышения по иностранному языку до 20-кратного по математике. И к этому надо прибавить хроническую гиподинамию и почти тотальное несоответствие условий содержания детей гигиеническим нормам и стандартам.

Не менее существенный показатель – здоровье трудоспособного населения. Около 3 млн человек ежедневно не выходят на работу из-за болезней, 20 млн, находясь на работе, пребывают в пред- или постболезненном состоянии. Более 70% трудового населения на пороге пенсионного возраста страдают от различных органических заболеваний.

Все эти факты дают право утверждать, что существующий нозологический принцип охраны здоровья себя не оправдывает. Система здравоохранения в нынешнем виде ориентирована, главным образом, на борьбу с уже возникшими заболеваниями и объективно не способна радикально улучшить состояние здоровья населения страны. Для того чтобы этого достичь, необходимо разработать новую, адекватную сложившимся социально-экономическим условиям стратегию охраны и улучшения здоровья людей.

Да, сегодня становятся рутинными сложные оперативные вмешательства, пересадки органов и тканей – как следствие успеха не только хирургической техники, но и больших достижений иммунологии, фармакологии и многих прикладных и фундаментальных наук. Между тем если мыслить шире, то все пересадки должны рассматриваться как признак неудачи профилактики – невозможности предотвратить или остановить развитие заболевания, когда пересадка остается единственным шансом спасения жизни или, по крайней мере, отдаления смертельного исхода. В таких случаях хирургия – это выбор отчаяния.

Предупреждение болезней и укрепление здоровья – вот главное, что должно занимать прежде всего власть и нас, ученых и медиков. И не в последнюю очередь, я это подчеркиваю, самих граждан.

Нынешняя государственная ориентация на рыночную экономику, правовое демократическое устройство жизни еще не дает индульгенцию на успешную социальную политику в области здоровья нации. Сейчас важно вне зависимости от политических, научных, ностальгических пристрастий признать, что реконструкция системы охраны здоровья нации есть объективная и насущная реальность. При этом я как министр абсолютно убежден: 41-я статья Российской Конституции – наше общее величайшее завоевание! Ее правовой и гуманистический потенциал в развитии этой важнейшей сферы жизнеобеспечения и безопасности общества не только не исчерпан, но представляет надежный фундамент наших дальнейших усилий по совершенствованию в данном направлении.

Охрана здоровья из государственной монополии должна перейти в область правовых взаимоотношений в системе “работодатель-работник”. Это новый для России социальный феномен, когда психосоматическое здоровье становится базовым свойством человека в системе рыночных отношений. Формируется твердая психологическая установка на здоровье как источник социально-экономического благополучия в условиях деловой конкуренции. У людей все чаще отмечается внутренний страх перед болезнью как социальной дилеммой: страх заболеть, так как нет семейного капитала на лечение, страх заболеть из-за превращения в обузу для родственников. Особую роль в этой связи призвана осуществить система медицинского страхования – но страхования здоровья, а не болезни. Иначе говоря, от примитивной схемы страхования на случай болезни нужно перейти к системе страховых вкладов, выгодных для здоровых людей, активно заботящихся о своем здоровье. Здоровье – это богатство, оно может и должно быть таковым как в прямом, так и в переносном смысле.

При такой методологической ориентации прежняя система охраны здоровья, когда центрирующим ядром была болезнь, утрачивает свою монополию. На смену должна прийти единая политика, суть которой в сохранении и развитии здорового трудового потенциала – здоровья здорового человека. Социальная политика в данной сфере должна сделать резкий моральный и материальный крен в сторону психологической работы с населением – в сторону его воспитания. Главная цель – привить нации потребность и любовь к здоровью, возвести здоровье в ранг национального достояния. Такой социальный тренинг мотивации к здоровому образу жизни сформирует у человека отношение к здоровью как к накоплению капитала, а отношение к восстановительной медицине – как к инвестиционному банку.

Ответственным шагом в реализации таких усилий станет разработка Федеральной программы – она должна быть Президентской программой. Ее основная задача – объединить усилия всех министерств и ведомств, государственных научных сообществ, общественных организаций, средств массовой информации в достижении стратегической цели – создания в стране социальных и экономических условий для формирования у людей культа здоровья.

Теперь о том, ради чего мы здесь собрались, – о научных задачах в области охраны здоровья населения страны. Я бы выделил два стратегических направления деятельности. Приоритетом должны стать научная разработка и реализация широкомасштабных профилактических программ. По экспертным оценкам, каждый рубль, направленный на медицинскую профилактику, восстанавливает ресурсы здоровья на 60 руб., а потраченный на получение медицинской помощи – лишь на 30 руб.

В исследовании проблем биологической надежности экосистемы человека необходим анализ закономерностей эволюции социально обусловленных форм патологии, создание и внедрение в практику новых технологий диагностики, лечения, профилактики, реабилитации и эпидемиологического надзора за болезнями. Результаты научных исследований двух последних десятилетий позволяют ставить в практическую плоскость вопрос об индивидуализации профилактических мероприятий. Думаю, что индивидуально-дифференцированный подход к профилактике станет в будущем наиболее эффективным и экономически оправданным в борьбе с массовой патологией человека. Цель стратегии – приоритетная защита от заболевания людей с недостаточностью механизмов генетического контроля и иммунологического гомеостаза. При этом изучение генома человека должно рассматриваться как биологическая основа современной и профилактической, и клинической медицины, как научная основа всего общественного здравоохранения.

В современном мире именно биотехнологии становятся ключевым элементом всех аспектов медико-биологической надежности и безопасности общества. Работы по генетической реконструкции начались не более 30 лет назад. Но уже в ближайшие десятилетия она займет лидирующее положение и, вероятно, определит лицо цивилизации нынешнего столетия.

Уже вошли в клиническую медицину такие понятия, как доклиническая диагностика и прекоцепционная профилактика. Создано новое направление – молекулярная медицина. Особенно интенсивно развиваются геновая терапия и генодиагностика, которые по уровню финансирования занимают за рубежом третье место после исследований в области рака и СПИДа. Российские ученые внесли значительный вклад в исследование геномов микроорганизмов и разработку геномной диагностики инфекционных болезней. Благодаря созданию более дешевых технологий ПЦР-анализа (полимеразная цепная реакция) объем выполняемых исследований в России гораздо больше, чем во всех других странах. При этом ПЦР-диагностика доступна даже в самых отдаленных регионах страны. Начало нового тысячелетия ознаменовалось созданием одной из самых удивительных карт – карты генома человека. Установление последовательности всех 3 млрд нуклеотидов в геноме – это открытие, которое по своему значению уступает, возможно, лишь Периодической системе элементов Менделеева.

Какие же задачи может и уже сегодня должна ставить перед собой отечественная медицинская наука и здравоохранение?

Геномный полиморфизм человеческой популяции отражается в индивидуальной предрасположенности к соматическим и инфекционным заболеваниям, гетерогенной переносимости лекарственных средств и даже в стиле жизни! Известно, что 98% всех болезней человека – это результат нарушения экспрессии нормального гена с точечными однонуклеотидными заменами.

Сегодня многие специалисты считают, что вопрос не в том, будут ли достигнуты успехи в проведении генной терапии, а в том, когда это произойдет. Изучение путей превращения эмбриональной стволовой клетки особенно важно для трансплантологии. В условиях ограничений в совместимой донорской ткани трансплантация эмбриональных клеток человека может и должна рассматриваться в качестве альтернативы пересадки целого органа. Уже сегодня количество клеточных трансплантаций в развитых странах Европы достигло 16 операций на миллион человек.

Наиболее перспективен анализ той части генома, которая экспрессируется в виде белков – реально работающих молекулярных машин в клетке человеческого организма, тесно связанных с различными заболеваниями. Это вполне решаемая в настоящее время задача. Знание геномной последовательности человека открывает новый путь и для создания лекарств следующего поколения. Вместо известных в современной фармакологии 500 мишеней для действия препаратов появятся тысячи новых. Генотипирование (или геномная паспортизация) населения позволит резко сократить показатели побочного действия лекарственных средств. Все это составляет основу для принципиально новых подходов в области наук о человеке – постгеномных технологий.

Быстрому развитию генной терапии, несомненно, способствовали результаты, полученные в ходе выполнения международного проекта “Геном человека”, который был начат в 1988 г. Многие специалисты считают выделение эмбриональных стволовых клеток человека одним из главных событий в биологии XX в. С появлением генно-инженерных методов, позволивших генетически направленно синтезировать белки, стало возможным получение живых рекомбинантных вакцин, в том числе комплексных, а также вакцин на основе трансгенных растений. Гигантские перспективы открывает биотехнология и в реализации стратегии здорового питания.

Все сказанное выше – признание ведущей роли фундаментальной науки. Вдумаемся: прирост населения планеты за все прошлое столетие составил 5 млрд человек! Неужели кто-то всерьез полагает, что в этом – решающий вклад только лечебной составляющей, только сектора практического здравоохранения, только прикладных исследований? Разумеется, нет. И состояние, и любые перспективы развития охраны здоровья нации напрямую зависят и всегда будут зависеть от уровня и достижений фундаментальных научных разработок. Задача государства – создать условия для таких исследований и для их активного внедрения в практику. Конечно, никакие результаты не могут быть достигнуты лишь преобразованиями или корпоративными усилиями в сфере самого здравоохранения. Успех – только на пути реализации комплекса общегосударственных программ с вовлечением в эту работу всех уровней власти, общественных организаций, населения страны.

При этом медицинская профилактика в самом широком и цивилизованном представлении – как система восстановления и укрепления здоровья людей – должна стать базовым интегрирующим направлением деятельности всей системы национального здравоохранения. Это каждодневный приоритет в жизни общества. Нуждается в оптимизации и организационная составляющая нашей научной деятельности. Самое слабое звено в корпоративной стратегии – в отсутствии отлаженного и эффективного механизма внедрения результатов научных исследований, особенно достижений фундаментальных наук в практическое здравоохранение.

Именно для решения этой ключевой задачи в 2002 г. по инициативе Минздрава России и при самой активной поддержке со стороны Российской академии наук и Российской академии медицинских наук мы создали принципиально новый для системы российского здравоохранения институт – Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова. Его основная миссия – аккумуляция отечественных и мировых научных разработок в сфере современных медицинских технологий и повсеместное внедрение их во всех регионах страны. Программная цель – обеспечить доступность дорогостоящих и высокотехнологичных видов медицинской помощи самым широким слоям нашего населения. Я уверен, что новый центр станет и базой интеграции исследований, и полигоном для внедрения результатов как фундаментальных, так и прикладных наук. Это инновационный центр для РАН и РАМН.

Российское здравоохранение будущего – это здравоохранение высоких технологий на базе достижений фундаментальных наук, интеграции фундаментальных знаний и технического прогресса. Это медицина предупреждения болезней, восстановления и укрепления здоровья, медицина высшего гуманизма, медицина сберегающая, медицина рациональной сдержанности, медицина нравственности, медицина права. Что же касается научных достижений в области здоровья и жизни – они не могут принадлежать кому-то одному, быть предметом монополии и торга. Это достояние всего человечества. Только такая медицина даст человеку счастье здоровой и гармоничной жизни.

МЕДИЦИНСКАЯ НАУКА – ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА

Академик РАМН В.И. Покровский

В последние десятилетия человек стал центральным объектом изучения многих дисциплин. Нет необходимости выяснять, какие науки внесли больший вклад в познание человека, какие – меньший. Несомненен комплексный эффект от развития биологических, химических, математических и других наук. Главный итог последних десятилетий – расшифровка физико-химических основ жизнедеятельности здорового и больного человека.

Недавно мы отметили 50-летие с момента эпохального открытия двухспиральной структуры ДНК, которое оказало революционизирующее влияние на развитие медицины. На рубеже XX и XXI вв. *генетика человека*

достигла глубокого уровня проникновения в структуру и функции живых организмов. Полностью прочитана последовательность нуклеотидов генома человека. Раскрыто значение нарушений хромосом в возникновении наследственных и врожденных болезней, обнаружено более 4000 наследственных заболеваний, расшифровывается роль наследственного предрасположения в развитии широко распространенных патологий. Важнейшим итогом развития генетики явилось создание генетических технологий для медицины – генодиагностики и генотерапии.

Уже сегодня в России ежегодно проводятся миллионы ДНК-анализов инфекционных заболеваний, а в крупных городах осуществляется и ДНК-диагностика 50 наследственных болезней. Широкое применение генодиагностика нашла при идентификации личности, особенно в криминалистике.

Иммунология является главнейшим предметом современной теоретической и практической медицины. Защита организма от чужеродного агента осуществляется иммунной системой. Инвентаризация антигенов человека в лейкоцитах, эритроцитах и плазме крови, изучение их наследования, физиологической роли обеспечили успехи в переливании крови и в трансплантации органов и тканей. Нельзя представить пересадку почек, сердца, костного мозга без иммунологического тестирования. К настоящему времени созданы международные банки органов для совместимой их пересадки.

Значительный прорыв сделан в понимании клеточных основ и молекулярного контроля иммунной системы. Расшифровка механизмов иммунитета и генетического контроля позволила обнаружить иммуномодуляторы. Это направление сейчас интенсивно разрабатывается и применяется на практике в лечении иммунопатологических состояний и при создании вакцин принципиально новых типов. Иммуномодуляторы, естественные и синтетические, выпускаются промышленностью и широко внедряются в практику.

Отдавая должное успехам молекулярной биологии и генетики, мы не должны забывать, что организм работает как единое целое. Вот почему вопросы общей патологии, адаптационной медицины, регулирующая роль центральной нервной и эндокринной систем по-прежнему должны быть в центре внимания ученых, тем более что их деятельность в значительной мере определяет физическое состояние человека. В *физиологии* успешно развивается теория функциональных систем академика П.К. Анохина. На ее основе сформулированы новые теоретические представления о голографическом и информационном принципах организации функциональных систем организма, о системном квантовании процессов жизнедеятельности, о системогенезе поведенческих актов. Достижения теории уже реализуются в медицинской практике, созданы автоматизированная система и необходимые приборы.

Большую роль в прогрессе познания человека сыграла *космическая физиология*. Ее основы были заложены в нашей стране, и она продолжает интенсивно развиваться. Работы, выполненные на Земле и в Космосе, служат не только космонавтам, но и всем людям планеты.

К возникновению новой междисциплинарной фундаментальной науки – *хронобиологии* – привело развитие учения о биологических ритмах.

Морфологическая часть учения о человеке – это уже не анатомия в прежнем понимании, это *клетка и субклеточные структуры*. Развитие техники культивирования клеток обеспечило возможность познания закономер-

ностей функционирования клеток в организме, позволило увидеть клетку как сложнейшее устройство, координирующее функционирование генов и продуцируемых ими веществ. Изучение клеточных и тканевых механизмов открыло новую главу в медицине – клеточные технологии.

Учение о *стволовых клетках* дважды явилось истинно русским открытием, которым мы можем гордиться. В начале XX в. стволовые клетки впервые описал русский гистолог Максимов, а в середине 60-х годов наши ученые Фриденштейн и Чертков доказали трансформацию стволовых клеток в тканеспецифические.

Говоря о современных достижениях медицинской науки, несправедливо было бы умолчать об огромной роли физики, химии, биологии, информатики в развитии медицины. Современная *биотехнология*, рожденная на стыке многих наук, сейчас занимает ведущее место в производстве лекарств, вакцин, моноклональных антител, диагностикумов.

Прогресс фундаментальных наук открыл новые возможности для понимания функций организма человека на организменном, органном, клеточном и молекулярном уровнях. *Молекулярная медицина* как направление стало формироваться 15–20 лет назад. К настоящему времени удалось добиться прорыва в понимании патогенеза болезней, благодаря чему обеспечивается целенаправленный подход к диагностике и лечению. В этом отношении особое значение придается протеомике – новой области науки, предметом которой является расшифровка белковой фабрики клетки.

Диагностика заболевания – это первый шаг на пути помощи больному. Методы диагностики – инструментальные или лабораторные – постоянно совершенствуются на основе фундаментальных открытий. Для оценки динамики методов диагностики в полной мере подходит образное выражение Ивана Петровича Павлова: “Часто говорится, и не даром, что наука движется толчками в зависимости от успехов, делаемых методикой. С каждым шагом методики вперед мы как бы поднимаемся ступенью выше, с которой открывается нам более широкий горизонт с невидимыми ранее предметами”.

Ныне регистрация болезни уже может осуществляться на уровне гена. Причем точно выясняется, в какой части гена какая поломка произошла и к чему она приведет: например, к раку толстой кишки, к болезни Альцгеймера, или это лишняя хромосома, обуславливающая болезнь Дауна, или раковый антиген при раке предстательной железы. Современные методы диагностики позволяют определять метаболиты, когда их концентрация измеряется в нано- и пикограммах. Одной клетки бывает достаточно для постановки диагноза.

Созданные на основе достижений ядерной физики многочисленные варианты радионуклидных методов и томографов революционизировали многие области медицины. Например, позитронно-эмиссионная томография делает возможным визуализацию опухолей и точное выявление небольших очагов активной опухолевой ткани. Больше того, можно определить распространенность опухолевого процесса сразу во всем организме.

Требования современной медицины к получению информации о состоянии пораженных органов и тканей или о механизмах патологического процесса чрезвычайно высоки. Возможности новых высоких диагностических технологий кажутся просто фантастическими с позиций всего лишь

20–30-летней давности. Например, мультиспиральная томография позволяет выявлять распределение микроколичеств кальция в стенке коронарных сосудов, что является доклиническим предиктором ишемической болезни сердца. Снимок сердца больного теперь можно получать в трехмерном измерении.

Благодаря генно-инженерным исследованиям стало возможным диагностировать болезни на пренатальной стадии у эмбриона и плода. В постнатальном периоде до проявления симптомов заболеваний диагностируют семейную гиперхолестеринемию, раки толстой кишки, молочной железы, некоторые формы умственной отсталости, диабет, склонность к тромбообразованию и многие другие заболевания.

Использование иммуноферментного анализа, а затем полимеразной цепной реакции, ДНК-ДНК-гибридизации и других методов позволило выявить ряд новых возбудителей инфекционных болезней, их генотипы и проследить эпидемический процесс. В настоящее время Россия располагает тест-системами отечественного производства для диагностики более 100 инфекционных агентов, включая атипичный короновирс, вызывающий нашумевшую в 2002–2003 гг. эпидемию ТОРС (“атипичная пневмония”).

Использование этих методик позволило практически предотвратить передачу вирусов иммунодефицита человека, гепатитов В и С при гемотрансфузиях и обеспечить контроль за эффективностью проводимой терапии. На повестке дня нанотехнологии. Они уже начинают применяться в медицинских исследованиях. Можно надеяться, что благодаря совместным разработкам ученых РАН, РАМН, РАСХН нанотехнологии займут достойное место в познании человека, методах диагностики заболеваний и синтеза лекарств.

Лечение. Успехи клинической медицины оцениваются по результатам лечения. Использование новейших технологий обеспечивает снижение летальности, контроль за проводимым лечением, продление и высокий уровень качества жизни конкретного больного.

Каждое новое открытие в биологии порождает новые поколения лекарств. Например, открытие рецепторов клетки привело к созданию лекарств, направленно стимулирующих или блокирующих эти рецепторы (кардиологические, психотропные средства). Теория синаптической передачи позволила выявить десятки нейромедиаторов. На этой основе появились сотни психотропных, кардиотропных препаратов. Открытие ионных каналов клетки стимулировало создание лекарственных средств, избирательно влияющих на натриевые, калиевые, кальциевые каналы. Существенным прорывом в области клинической фармакотерапии явились достижения в области биотехнологии и биотехнологии. Разработаны генно-инженерные препараты (инсулин, интерфероны и др.), новые формы доставки лекарств в организм (липосомальные формы, ингаляционные, чрескожные).

Революционной технологией лечения детей, страдающих низкорослостью, без преувеличения, можно назвать создание и применение гормона роста, рекомбинантного соматотропина, лечение которым позволяет увеличить темп роста ребенка и в конечном итоге радикально улучшить качество жизни низкорослых пациентов.

В лечении онкологических заболеваний и лейкозов существенное место занимают не только новые химиотерапевтические препараты, но и программы химиотерапии. Например, при острых миелоидных лейкозах лечение согласно программе позволяет добиться выздоровления у 40% больных по сравнению с 1.5% в 80-е годы. Особенно сильное впечатление производят результаты лечения тяжелой апластической анемии, выживаемость при беременности и заболеваниях системы крови.

Наиболее ярко успехи медицины демонстрируют изменения в судьбе больных с инфарктом миокарда. Сорок лет назад 30% таких больных умирали в остром периоде, а сегодня – только 5%. Во многом это связано с применением тромболитической терапии в остром периоде, разработанной и впервые использованной в нашей стране.

Среди достижений медицинской науки в области лечения особое место занимает хирургия в широком смысле слова. Все уже привыкли к таким терминам, как эндоскопическая хирургия, микрохирургия, аортокоронарное шунтирование, пересадка почки, замена хрусталика, искусственный клапан сердца. Новейшая аппаратура позволяет выполнять филигранные операции на любом органе, включая головной мозг. Благодаря современной хирургической технике, удается не только спасти жизнь людям, но и делать ее полноценной. В хирургической технике широко применяются лазерные скальпели, плазмокоагуляторы, созданные отечественными физиками и инженерами. В то же время хирургия не добилась бы таких успехов без современной реанимации (а эта часть медицины была рождена и развита в нашей стране, сам термин “реанимация” введен В.А. Неговским) без новейшей анестезиологической помощи. В качестве самостоятельного раздела выделяется радиохirurgия, которая является результатом совместных разработок физиков, инженеров, врачей.

Внедрение вспомогательных репродуктивных технологий, в том числе экстракорпорального оплодотворения и переноса эмбриона, существенно расширило возможности лечения наиболее тяжелых форм женского и мужского бесплодия, дало возможность десяткам тысяч семей обрести желанных детей. Использование новых перинатальных технологий, контроль за развитием плода, пренатальная диагностика наследственных болезней и врожденных пороков развития, реанимация и интенсивная терапия позволили снизить перинатальную смертность в 7 раз и сохранить жизнь тысячам новорожденных.

Разработана и реализована уникальная высокоэффективная технология гамма-нейтронной и нейтронзахватной терапии. Радиойодная терапия позволяет без операции излечить более половины больных раком щитовидной железы.

Говоря о лечении, необходимо упомянуть о двух новейших технологиях в медицине – генной терапии и клеточных технологиях, предполагающих воздействие главным образом на стволовые клетки. Ожидания, которые связывались с генной терапией, оправдались не сразу. Природа нелегко расстается со своими секретами. Эксперименты и клинические испытания продолжаются во многих институтах Российской академии наук, Академии медицинских наук и Министерства здравоохранения РФ. Лечебные технологии, основанные на использовании стволовых клеток, привлекают в по-

следние годы повышенное внимание. Именно эти клетки являются объектом интенсивных разработок и пилотных клинических исследований.

Необходимо также отметить, что в связи с быстро развивающейся резистентностью микробов к антибиотикам перед учеными встают новые задачи, нужны принципиально новые подходы к созданию антибиотиков.

Профилактика. Медицинская наука в полной мере осознает, но далеко не в полном объеме решает проблему здоровья общества. Речь идет о профилактическом направлении в медицине. Провозглашенный более века назад корифеями отечественного здравоохранения принцип “медицина будущего – это медицина профилактическая” все еще остается в нашей стране в большей степени лозунгом, чем реальной стратегией и тактикой.

Здоровое общество – это прежде всего здоровая мама, здоровый ребенок, здоровый работающий человек. По-настоящему здоровый человек имеет существенный запас “прочности” и обладает хорошими адаптивными возможностями.

Что же может дать современная медицинская наука для реализации профилактического направления?

Интенсивное и в ряде случаев пагубное влияние человека на окружающую природную среду неизбежно сопровождается отрицательным воздействием измененной среды на здоровье человека. Именно этим обусловлено уменьшение резистентности целых популяций к воздействию неблагоприятных факторов физической, химической, биологической природы, широкое распространение иммунодефицитных состояний, рост инфекционных патологий, развитие таких неинфекционных “эпидемий”, как нарушения липидного обмена, ожирение, сердечно-сосудистые заболевания, сахарный диабет, остеопороз и др.

Следует подчеркнуть, что население трудоспособного возраста является основной группой риска потери здоровья и роста смертности в России. С неудовлетворительными условиями труда связано 20–40% трудопотерь. Медицина труда разработала ряд принципиально новых и эффективных технологий, которые могут значительно сократить эти потери. Современная гигиена, аккумулируя данные целого ряда базовых наук, с большой степенью надежности может идентифицировать опасный фактор, оценить риск его воздействия на здоровье человека и разработать технологии, позволяющие снизить такой риск или, по крайней мере, управлять им.

В настоящее время известно более 23 млн неприродных, синтетических, химических соединений, из которых почти для 7000 доказано их токсическое влияние на человека в низких и очень низких концентрациях. Созданная в последние годы в учреждениях РАМН, Минздрава России, РАН нормативно-методическая база включает более 4500 методов анализа контаминантов в окружающей среде – воздухе, воде, пищевых продуктах, почве. Она основана на применении газовой и жидкостной хроматографии, хроматомасс-спектрометрии, иммунноферментных, радиохимических методов, а в последнее время на использовании полимеразной цепной реакции и биочипов. Все это позволяет обнаруживать, идентифицировать и определять токсиканты в нано- и пикограммовых количествах.

Центральным звеном в системе обеспечения безопасности человека, безусловно, является оценка риска для здоровья воздействия того или иного

агента и разработка регламента его содержания в объектах окружающей среды. Сейчас уже предложены многоуровневые технологии оценки риска, созданы более 17 тыс. гигиенических регламентов. Иными словами, на производстве и во всех надзорных структурах страны действует методическая и нормативная база, гарантирующая безопасность человека, конечно, при соблюдении установленных регламентов.

Реальную угрозу для здоровья человека и общества представляют природные биологические агенты. Биориск, определяемый концентрацией агента биоопасности, проявляется в виде вспышки болезни, ее эпидемии или биокатастрофы. Биоопасность можно разделить на потенциальную и реальную, с природным и с намеренно антигуманным (биологическое оружие, биотерроризм) механизмами реализации. К основным современным источникам биологической опасности, которые представляют наибольшую угрозу для населения, относятся патогенные микроорганизмы, микроскопические грибы и продукты их жизнедеятельности. Потенциально опасны и созданные с применением генно-инженерных технологий генетически модифицированные микроорганизмы и генетические конструкции.

Обсуждая значение воздействующих на человека биологических факторов, в первую очередь необходимо обратить внимание на возбудителей инфекционных и паразитарных заболеваний. Только за последние 30 лет идентифицированы более 40 новых патогенов, вызывающих инфекционные заболевания человека. Накапливается все больше данных о роли микроорганизмов в патогенезе ряда так называемых соматических болезней: образования камней в мочевыводящих путях (нанобактерии), язвы желудка и двенадцатиперстной кишки (хеликобактерии), рака печени (гепатит С) и даже атеросклероза. К сожалению, исследования в этом направлении в нашей стране практически не ведутся. Также мало внимания уделяется прионовым болезням, ставшим бичом животноводства многих европейских стран. Мы и сегодня являемся свидетелями нередких вспышек тех или иных инфекционных заболеваний. В современных условиях в любое время, в любой точке мира может начаться эпидемия, возбудителем которой оказывается новый или занесенный из какого-либо эндемичного очага микроорганизм. Достаточно напомнить о ТОРС-синдроме (“атипичная пневмония”), болезни легионеров, астраханской риккетсиозной пятнистой лихорадке, болезни, вызываемой вирусом Западного Нила, и др.

Серьезные проблемы могут возникнуть как результат исследований по воздействию на геном бактерий. Генно-инженерно-модифицированные организмы могут стать возбудителями эпидемий не только вследствие намеренной диверсии, но и в силу непредсказуемости эпидемических и экологических последствий их неконтролируемого попадания во внешнюю среду. Генно-инженерное манипулирование микроорганизмами-сапрофитами и условно патогенными микроорганизмами способно привести к повышению их антигенных свойств, в то время как иммунная защита организма может оказаться неэффективной в связи с формированием иммуно доминантных эпитопов.

Угрожающие для безопасности государства масштабы начинает приобретать эпидемия ВИЧ/СПИД. На 1 декабря 2003 г. число инфицированных вирусом зарегистрированных лиц достигло 260 тыс. человек. Фактически их

около 1 млн. 90% из них – молодые люди в возрасте до 30 лет. Учитывая, что от момента заражения до смерти проходит в среднем 11 лет, даже оптимистический прогноз предполагает значительный подъем уровня смертности среди молодых людей в ближайшие годы. Эффективное противодействие этим негативным тенденциям предполагает развитие совместных комплексных исследований как в области фундаментальных и прикладных естественных наук, так и социологии и экономики.

Огромную социальную опасность представляют также вирусные гепатиты, особенно В и С, туберкулез и ряд природноочаговых заболеваний. Поэтому постоянный мониторинг за циркуляцией особо опасных инфекций, предотвращение их выноса с зараженных территорий, тесная связь с ветеринарной службой являются неперенным условием обеспечения биобезопасности страны.

В последние годы определились принципиально новые подходы к изучению механизмов существования возбудителей в природе, основанные на исследовании феномена социального поведения бактерий, частным выражением которого является образование специальных структур – биопленок. 90% микроорганизмов в природных биоценозах существуют именно в виде биопленок.

Как ни парадоксально, существенный вред здоровью и детей и взрослых наносят сами люди, ведя неправильный образ жизни, прежде всего неправильно питаясь. Структура питания населения страны, которую мы изучаем на основе регулярных эпидемиологических исследований, характеризуется, с одной стороны, избыточной энергоемкостью, избыточным потреблением животных жиров и легко усвояемых углеводов, с другой – глубоким и повсеместным дефицитом микронутриентов: витаминов, минеральных веществ (кальций, железо), микроэлементов (селен, йод, цинк), а также крайне низким потреблением овощей и фруктов, недостаточным уровнем обеспеченности такими жизненно важными биологически активными веществами антиоксидантной природы, как флавоноиды, индолы и др. Важно подчеркнуть, что характер и степень нарушений питания в значительной степени зависят от уровня доходов и существенно различаются у бедных (менее 50% от потребительского минимума) и обеспеченных (более 500% потребительского минимума). Выявленные нарушения “отнимают” здоровье и у тех, и у других.

В настоящее время в РАМН разработана концепция оптимального питания, интегрирующая все современные достижения биохимии, физиологии и других фундаментальных наук. Концепция уточняет физиологические потребности детского и взрослого организма в значительно более широком спектре углеводов, липидов, микроэлементов и биологически активных веществ. Объединение научного потенциала академий могло бы в значительной степени способствовать ускорению работы в этом фундаментальном направлении науки о питании и реализации “Концепции государственной политики в области здорового питания населения Российской Федерации”.

Говоря о проблемах питания, нельзя не упомянуть о новом пути развития агропромышленного комплекса страны – активном внедрении биотехнологий. Перспективы расширения межакадемического сотрудничества здесь очень широки.

* * *

Итак, в этом кратком докладе я попытался суммировать те достижения медико-биологической науки, которые имеют важное значение для страны и порождают технологии, позволяющие улучшить здоровье нации, диагностировать и лечить болезни. Распространение, тиражирование новейших медицинских технологий – вот важнейшая задача содружества науки и практики.

Безусловно, мощным стимулом к объединению усилий и богатейшего научного потенциала Российской академии наук и Российской академии медицинских наук во благо здоровья человека могли бы стать целевая комплексная федеральная программа по фундаментальным проблемам медицины и создание межакадемического совета по медицине.

ОТ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ РАЗРАБОТКИ ДО ЛЕКАРСТВА

Академик Р.В. Петров

Ни одно лекарство, легально используемое в лечебных учреждениях Российской Федерации, не может пройти мимо Научного центра экспертизы средств медицинского применения Минздрава России и Фармакологического комитета. Так что на сложном пути от идеи до лекарства лежат не только научные и финансовые трудности, но и обязательные процедуры экспертизы эффективности и безопасности лекарств с их обязательной государственной регистрацией.

В последние 20 лет внимание Академии наук к проблемам биомедицинских разделов науки постоянно увеличивается. В формирование этой тенденции выдающийся вклад внесли Юрий Анатольевич Овчинников, который в 1980-х годах был вице-президентом Академии наук, и Гурий Иванович Марчук – президент академии в конце 80-х. Были усилены исследования в области молекулярной биологии и биотехнологии, разработана и введена в жизнь государственная программа “Приоритетные направления генетики”, создан Институт биологии гена, открыт первый в Академии наук отдел иммунологии в Институте биоорганической химии и т.д.

После 1991 г. президент РАН академик Юрий Сергеевич Осипов интенсифицировал деятельность академии в интересах медицины. Принцип “Фундаментальные науки – медицине” стал установочным для многих отделений и институтов РАН. В состав Российской академии наук были избраны крупнейшие ученые-медики из числа членов Российской академии медицинских наук. Увеличилось количество разработок, направленных прямо на медицинские цели. Я имею в виду создание терапевтических и диагностических медицинских приборов, современных диагностических тест-систем, лекарственных препаратов и вакцин.

Задача моего доклада – проанализировать путь от фундаментальной разработки до лекарства вплоть до выхода его в медицинскую практику и про-

иллюстрировать эти процессы работами институтов Российской академии наук. Более 20 институтов РАН любезно предоставили мне данные о своих разработках за последние несколько лет. Однако прежде чем перейти к демонстрации конкретных результатов, позвольте остановиться на некоторых общих аспектах проблемы создания и использования лекарств.

Первый вопрос: с каким количеством лекарств мы сталкиваемся в жизни, в аптеках, в больницах?

Подсчитать их число не так просто, поскольку многие лекарства выпускаются и продаются различными производителями в комбинациях или под измененными торговыми названиями. Но сколько лекарств регистрируется для выхода на фармацевтический рынок, сказать легче. Приведу данные из “Вестника Научного центра экспертизы средств медицинского применения” (рис. 1). В последние три года зарегистрировано более 16 тыс. лекарств, из них впервые – в 10–15 раз меньше. Большинство зарегистрированных лекарств – отнюдь не новые и чаще нероссийские, причем количество импортных препаратов существенно превышает российские. В ценовом выражении импорт составляет две трети российского фармацевтического рынка. И хотя в 2002 г. производство готовых лекарственных средств в России выросло более чем на 30% по сравнению с 1997 г. (Ремедиум. 2002. № 6. С. 36–42), к сожалению, этот рост не перекрывает импорта.

Второй вопрос: откуда импорт?

Доминирующее положение на российском фармацевтическом рынке занимают страны Западной Европы и Северной Америки (56% в первом квартале 2002 г.), на втором месте – страны Восточной Европы (26%), на третьем – страны Азии, Африки и Латинской Америки (13%), затем – страны СНГ (5%). Итак, превалирует импорт. Я подхожу к главному по теме доклада вопросу. Значит ли это, что превалируют новые, подчеркиваю – **новые**, лекарственные препараты? Нет, не значит.

Дело в том, что создание новых лекарств, оригинальных и патентоспособных, – это штучный результат, завершающий крупное фундаментальное исследование. В подавляющем большинстве стран мира на фармацевтическом рынке преобладают не новые оригинальные лекарства, а так называемые генерики, то есть воспроизведенные. К ним относятся созданные два-три десятка лет назад препараты, которые исчерпали свое “патентное время”



Рис. 1. Количество лекарственных средств, зарегистрированных в России с 1992 по 2002 г.

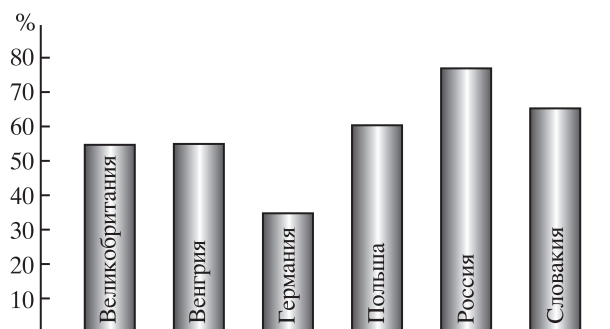


Рис. 2. Объем продаж в Европе воспроизведенных лекарств (генериков) по отношению к оригинальным препаратам
Данные Ю.Б. Белоусова (Ремедиум. 2003. Июль–август. С. 4–9)

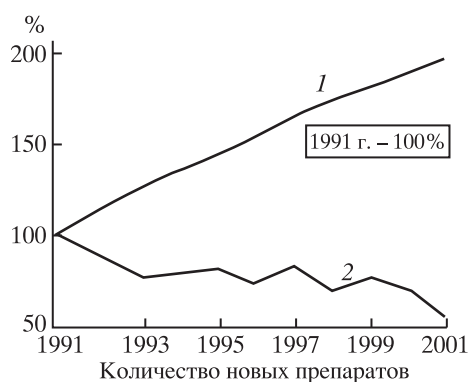
и теперь могут воспроизводиться (генерироваться) любым производителем в любой стране.

Во всех странах, за исключением Германии, на фармацевтическом рынке преобладают воспроизведенные (генерические) препараты (рис. 2). К сожалению, в России их больше всего – 78%. Преобладание генериков происходит потому, что в коммерческом плане их производство во много раз выгоднее. Не нужно вовлекать большую науку, тратить время и миллионы долларов на прохождение пути от идеи до лекарства. И несмотря на то, что в последнее десятилетие произошло удвоение инвестиций в создание новых лекарств, число новых лекарственных препаратов, попадающих ежегодно на мировой рынок, сократилось (рис. 3). Каждый год в мире появляется не более 30–40 новых лекарственных препаратов.

Позвольте привести пример из “классики” – открытие эры антибиотиков и создание антибиотических препаратов. В 1929 г. Александр Флеминг обнаружил способность некоторых плесеней убивать другие микроорганизмы с помощью антибиотических веществ. Так был открыт пенициллин. Однако как лекарство пенициллин появился лишь через 11 лет – в 1940 г. Спустя 9 лет был создан другой ряд антибиотиков – тетрациклины. Прошло еще 13 лет, прежде чем наука создала новый ряд антибиотиков – хинолоны (1962), затем полусинтетические пенициллины, цефалоспорины (1970) и фторхинолоны (1986).

Очевидно, что путь от фундаментальной разработки до нового лекарства долгий. Он складывается из шести основных этапов. Если его схематизировать и усреднить время прохождения этих этапов, то получается следующая картина (рис. 4).

Рис. 3. Объем инвестиций (кривая 1) и количество новых лекарственных препаратов на мировом фармацевтическом рынке (2)
Данные “Эксперта” (2002, № 18)



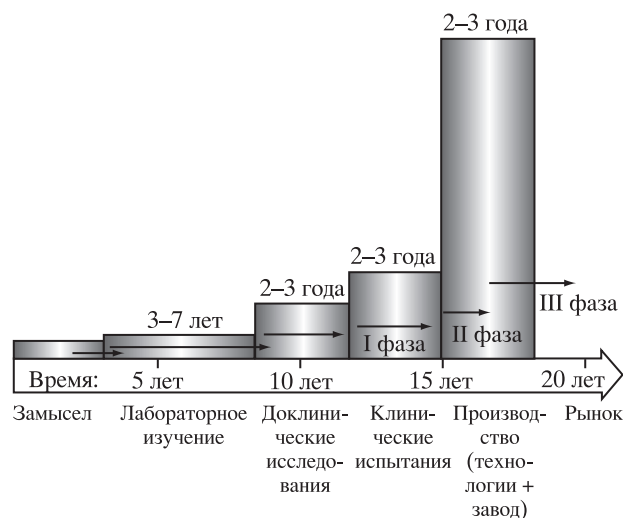


Рис. 4. Основные этапы на пути лекарства от замысла до рынка

Первый этап – *замысел*. Длительность этого этапа подсчитать невозможно, ибо он включает всю историю науки плюс один день или всю жизнь тех ученых, которые данную вещь замыслили или обнаружили.

Второй этап – *лабораторное изучение*. Предусматриваются идентификация, выделение или синтез, очистка, определение направленности действия и механизма развития эффекта, апробация в различных моделях и на разных видах животных. На все это уходит несколько лет.

Третий этап – *доклинические исследования*. Изучаются токсичность, канцерогенность, мутагенный и другие генетические эффекты, всасываемость в кровь, распространение по органам и тканям, выведение из организма, определяются возможные лечебные дозы и концентрации. В общем, за один год не уложишься.

Четвертый, наиболее ответственный этап – *клинические испытания*. В них можно выделить три фазы. Первая – тестирование на предмет безопасности, чаще всего делается на 20–100 добровольцах с подробным изучением их состояния, поведения лекарства и т.д. Вторая фаза – тестирование на предмет краткосрочной безопасности и проверка эффективности на нескольких сотнях больных. Третья фаза – продолжение изучения эффективности и безопасности на нескольких тысячах пациентов. Последняя фаза не тормозит внедрение лекарства. Если первая и вторая фазы проходят успешно, можно начинать производство, отрабатывать промышленные технологии, строить завод и выходить на рынок. На весь цикл от замысла до лекарства уходит 10–15 лет.

Пятый и шестой этапы – *государственная экспертиза и регистрация лекарственного средства, производство и рынок*. Данные о доклинических исследованиях и клинических испытаниях нарождающегося нового лекарства представляют собой юридически значимые материалы. Досье с материалами доклинических исследований в соответствии с необходимыми формальностями поступает в Научный центр экспертизы средств медицинского

применения, где изучается специализированными комиссиями и рассматривается Фармакологическим комитетом. Принятие положительного решения открывает возможность получения разрешения на введение нового средства человеку – разрешения на клинические испытания. Это первая юридическая граница, без ее прохождения назначение препарата людям противозаконно. Случаи, когда разработчики начинают испытывать свой препарат без экспертизы, часто заканчиваются печально и для пациентов, и для разработчиков.

Второе официальное разрешение дает Фармакологический комитет после проведения по крайней мере первой фазы клинических испытаний. Положительное решение комитета легализует получение разрешения на клиническое применение, хотя исследование и изучение эффективности лекарства продолжается.

Каковы затраты и как они распределяются при прохождении пути от замысла до нового лекарства?

Конечно, в разных случаях и в разных странах эти цифры разные. В соответствии с усредненными международными данными затраты на создание нового лекарства составляют от 200 до 700 млн долл. Если принять среднюю величину затрат за 100%, то на разных этапах 10–15-летнего процесса разработки лекарства затраты не одинаковы. Замысел, как во времени, так и деньгах, выразить невозможно – это затраты всего человечества на всю фундаментальную науку. Но вот что удивительно: по мере продвижения разрабатываемого препарата к готовому лекарству затраты неуклонно возрастают (рис. 5). И самым затратным в денежном выражении оказывается налаживание производства, промышленной технологии, строительство завода и выход на рынок. Однако в случае успеха производителя ожидают миллиардные прибыли. Здесь уместно напомнить, что мировой фармацевтический рынок имеет годовой оборот более 300 млрд долл., годовой оборот Российского фармацевтического рынка – всего 2 млрд долл.

Патентная защита нового препарата обеспечивается 15–20 лет, что дает возможность с лихвой возратить и умножить вложенный капитал. После истечения патентного срока препарат может производить любой – лекарство переходит в ранг генериков.

Итак, путь от фундаментальной разработки до лекарства долгий, трудный, дорогой, да еще и требует государственной экспертизы и регистрации. Причем в Западной Европе, Японии или США экспертиза и регистрация не менее сложна, чем у нас, и много дороже. Знаменитая FDA (Food and Drug Administration USA) взимает с разработчика 200–400 тыс. долл., экспертиза продолжается два–два с половиной года.

Кто же проходит этот путь? Кто создает и выводит на мировой рынок до 30–40 новых лекарств ежегодно?

Согласно статистике, представленной Фармакопеей США на американско-российском совете по решению технических вопросов в сфере здравоохранения (Москва, 23–25 июня 2003 г.), 92.9% новых лекарств разрабатывается фирмами и компаниями Фарминдустрии, 1% – правительственными учреждениями – лабораториями или институтами, 3.6% – научными учреждениями, работающими в области фундаментальной (академической) науки, 3.1% – другими организациями.

Фазы продвижения лекарственных препаратов, разработанных в Российской академии наук

Институты РАН	Название препарата	Направленность лекарственного действия	Фаза продвижения			
			Экспериментальная разработка	Доклинические исследования	Клинические испытания	Регистрация, Применение, Производство, Рынок
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля	Эмоксипин	Нейропротекция				→
	Мексидол	Антиинсультная				→
	Мексикор	Антиишемическая				→
	Нитрозометил-мочевина	Противораковая				→
	Дибунол	Противораковая				→
	Рубоксил	Противораковая			→	
	Цефесорб-2	Противораковая		→		
	Доксорубоцин	Сверхмалые дозы		→		
	Феназепам	Сверхмалые дозы		→		
	Фенозан	Противосудорожная		→		
	Ихфаны	Ингибиторы ацетилхолинэстеразы	→			
Институт биофизики клетки	Пероксиредоксин	Противовоспалительная		→		
Институт биохимии им. А.Н. Баха	Фолинат кальция	Витамин, гр. В				→
СО РАН	Кобазол	Гемопоэтическая				→
	Ацизол	Антигипоксант (отравления СО)				→
Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского	Амидоксен	Противовоспалительная		→		
	Перхлоролон	Противотуберкулезная	→			
	Полипепфан	Энтеросорбент				→
	Гемокрил	Гемостатические салфетки				→
Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова	Анавидин	Антисептик (для воды и имплантатов)				→
	Бисульфам	Противовоспалительная	→			
	Аскопирин	Аналог УПСА				→
Институт катализа им. Г.К. Борескова	Сульфакрилат	Медицинский клей				→
Институт химии твердого тела и механохимии	Алаглизин	Антиаритмическая	→			
	Агент БФ-8,2	Против ВИЧ, герпеса	→			
	Диквертин	Антиоксидант				→
Институт цитологии и генетики	Имозимаза	Протеолитическая		→		→
Институт химии и химической технологии	Тромбовазим	Тромболитик				
	ЦИС-платина	Противораковая	→			
Институт органической химии УНЦ РАН	Аллапинин	Антиаритмическая				→
	Аналог аллапинина	Антиаритмическая	→			
	Азидарег	Глазные травмы		→		
	Лекарственные пленки антимикробные	Ожоги, ранения		→		
	Комплексы глицеризиновой кислоты с антибиотиками	Противомикробная	→			
	Бетулин (из коры березы)	Генатотропная	→			
	Производные бетулина	Противовирусная	→			
	Хитозановые пленки	Раневая защита	→			

Институты РАН	Название препарата	Направленность лекарственного действия	Фаза продвижения			
			Экспериментальная разработка	Доклинические исследования	Клинические испытания	Регистрация, Применение, Производство, Рынок
Институт органического синтеза УрО РАН	Пефлоксацин	Антибиотик				
	Левифлоксацин	Антибиотик (ТБС)				
	Лизомустин	Противораковая				
Институт химической физики им. И.И. Семенова	Индралин	Радиопротекция				
	Индометофен	Радиопротекция				
Институт фундаментальных проблем биологии	Липополисахарид из Rodobacter	Антитоксическая				
Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН	Димефосфон	Антиацидотическая				
	Глицифон	вазоактивная				
	Ксимедон	Противораковая				
	Новый класс α -адренолитиков	Иммунотропная Регенерационная Против гипертонии				
Межинститутский проект ак. М.П. Кирпичникова	Варианты альбетеина	Противовирусная				
	Генно-инженерный нейротоксин II	Нейротропная				
	Генно-инженерный интерлейкин 13	Иммуностимуляция				
Институт теоретической и экспериментальной биофизики	Искусственная кожа	Покрывание для ран				
	Перфторан	Переносчик кислорода				
Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова	Антитела против дигиталисподобных эндогенных факторов (уабаин и др.)	Против эклампсии беременных				
Институт биоорганической химии им. академиков М.И. Шемякина и Ю.А. Овчинникова	Лихопид	Иммуностимуляция				
	Бивален (МП-2)	Противораковая				
	Серамил (МП-4)	Противобактериальная				
	Дельтаран	Антистрессовая				
	Инсуран	Инсулин человеческий				
Институт молекулярной генетики	Семакс	Нейротропная				
	Селанк	Нейротропная				
Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта	Нетропсины димерные	Противовирусная				
Институт биологии гена	Аутовакцина Tag7	Противораковая				
	Алловакцина Tag 7	Противораковая				
Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева	Инсулин пероральный	Противодиабетическая				



Рис. 5. Распределение затрат на всех стадиях создания нового лекарства

В сегодняшней России мощной Фарминдустрии нет. Оставшаяся от СССР государственная фармакологическая промышленность мощью не отличается, десятки негосударственных фармакологических компаний еще не нарастили научно-исследовательского потенциала, да и не имели времени пройти весьма затратоёмкий путь длиной в 10–15 лет. Следовательно, 90%-ного сектора создателей и поставщиков новых лекарств в нашей стране пока нет. Надежда только на академическую науку.

Рассмотрим фазы продвижения нового лекарственного препарата в системе Российской академии наук (таблица). В Институте биохимической физики им. Н.М. Эмануэля традиционно разрабатываются препараты с антиоксидантными свойствами. Первые пять (см. табл.) уже используются в медицине, зарегистрированы, производятся и существуют на фармацевтическом рынке. Эмоксипин характеризуется нейропротекционной активностью, мексидол – антиинсультной, мексикор – антиишемической. Группа препаратов обладает противоопухолевой активностью: рубоксил проходит клинические испытания, цефесорб – доклинические исследования. Группа ихфанов – ингибиторы ацетилхолинэстеразы – находится в фазе экспериментальной разработки.

Продуктивная работа ведется в институтах Сибирского отделения РАН (см. табл.). Семь препаратов выпускаются, служат медицине, поступили на фармацевтический рынок. Среди них ацизол – против отравления окисью углерода (угарным газом), акнавидин – антисептик для обеззараживания воды и хирургических имплантатов, аскопирин – растворимый аспирин, созданный методами механо-химической технологии, диквертин – новый антиоксидант. Два препарата – противовоспалительный амидоксен и тромболитик тромбовазим – переданы на клинические испытания. Группа препаратов находится в фазе доклинических исследований, среди них перхлозолон с противотуберкулезной активностью, на два порядка превышающей известный изониазид.

В Уфимском научном центре РАН и Уральском отделении РАН (см. табл.) три препарата – аллапинин (антиаритмик), пefлоксацин (антибиотик)

и лизомустин (противоопухолевый) – полностью завершили путь от замысла до лекарства: они разрешены для медицинского применения, производственные технологии налажены. Три препарата находятся в фазе клинических испытаний, пять препаратов входят в фазу доклинических исследований или уже завершают ее. Среди них особое значение имеет левофлоксацин – сильнейший антибиотик противотуберкулезной направленности.

Что касается разработок Института органической и физической химии им. А.Е. Арбузова Казанского научного центра, Межинститутского проекта, руководимого М.П. Кирпичниковым, Института теоретической и экспериментальной биофизики в Пущино и Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова, то три препарата – димефосфон, глицифон и ксимедон, а также искусственная кожа для покрытия ран и переносчик кислорода перфторан вышли в медицинскую практику, остальные препараты находятся в фазе экспериментальной разработки или доклинического исследования.

Очень интересные лекарственные средства создаются в Институте биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова и в Институте молекулярной генетики (см. табл.), и прежде всего – группа новых, оригинальных лекарств пептидной природы. Иммуностимулирующий ликолипид, антистрессовый дельтаран и нейротропный семакс занимают хорошие позиции на фармацевтическом рынке. Противоопухолевый Миелопептид-2 (бивален) и противобактериальный Миелопептид-4 (серамил) успешно проходят доклиническую и клиническую фазы испытаний. Начата разработка совершенно нового класса препаратов направленного действия с условным названием бинарные иммунотоксины. Институт биологии гена приступает к клиническим испытаниям особого рода генотерапии, основанной на введении Tag7 гена в опухолевые клетки.

Принципиальное значение имеют академические разработки генно-инженерного человеческого инсулина, получившего название Инсуран (Институт биоорганической химии), и перорального инсулина (Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева).

Инсуран представляет собой первый человеческий инсулин отечественного производства. Собственная генно-инженерная конструкция – плазмида – создана и запатентована в 1997 г. Выписка из заявки на экспертизу и государственную регистрацию гласит: фирма-заявитель, фирма-производитель, фирма-владелец патента и фирма-производитель субстанции – Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН. Это принципиальное достижение российского фармацевтического производства стало возможным благодаря соглашению между Правительством Москвы, Российской академией наук и Институтом биоорганической химии, подписанному 15 мая 2000 г. В соответствии с ним Москва выделила 120 млн руб. для создания производства генно-инженерного инсулина человека на базе института с условием закупки до 300 тыс. флаконов в год. Инсуран уже прошел клинические испытания и рекомендован Фармакологическим комитетом для медицинского применения. Документ о государственной регистрации, дающий право на производство и выход на рынок, подписан в декабре 2003 г.

Пероральный инсулин, разработкой которого руководит академик Н.А. Платэ, находится сейчас в фазе клинических испытаний.

К большому сожалению, я весьма поздно получил данные из Дальневосточного отделения РАН, поэтому они не вошли в таблицу. В Тихоокеанском институте биоорганической химии созданы и зарегистрированы два препарата – гистохром (антиаритмический) и коллагеназа (ранозаживляющий). Доклинические и клинические исследования проходят еще четыре лекарственных средства.

Итак, я представил обобщенные данные о том, что делается в институтах Российской академии наук в направлении создания лекарственных препаратов различного профиля. Конечно, я продемонстрировал не все разработки академических институтов, но выборка достаточно репрезентативная – 71 препарат. Из них 17% находятся в начальной стадии экспериментальной разработки, 24% – в стадии доклинических исследований, 20% – в стадии клинических испытаний и 39% препаратов выведены в ранг зарегистрированных лекарств, вошедших или входящих в медицинскую практику и на фармацевтический рынок (рис. 6).

Много это или мало? Не так уж и мало, если учесть, что во всем мире ежегодно вводится в обиход не более 30–40 новых лекарств.

В заключение расскажу об одной разработке, завершившей уже путь “от идеи до лекарства”. Это не чисто академическая разработка, в ней также участвовали сотрудники МГУ и Института иммунологии Минздрава. Замысел был сформулирован 30 лет назад Виктором Александровичем Кабановым и мною. Мы попытались создать полностью синтетические иммуногены нового типа – на основе конъюгации антигенной детерминанты с линейным карбоцепным полиэлектролитом (рис. 7).

В 1997 г. мы получили соединение тринитрофенольного гаптена с сополимером акриловой кислоты и были удивлены его высокой антигенностью. Выработка антител у животных происходила после однократной инъекции и без всяких дополнительных адъювантов. Свойство полиэлектролитов превращать слабые антигены в сильные оказалось универсальным, если достигалась определенная длина цепи полиэлектролитного носителя. При этом иммунный ответ стимулировался даже у генетически слабореагирующих особей.

Экспериментальные разработки	Доклинические исследования	Клинические испытания	Регистрация производство рынок
12 (17%)	17 (24%)	14 (20%)	28 (39%)

Рис. 6. Соотношение “продвинутой” лекарственных разработок РАН из 71 проанализированной

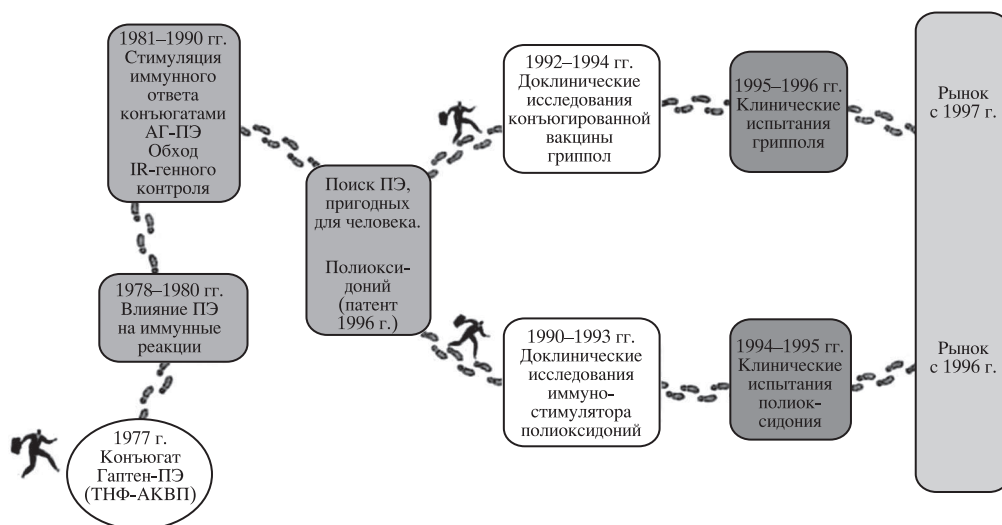


Рис. 7. Основные этапы пути “от идеи до лекарства” иммуностимулятора полиоксидонии и вакцины гриппол

К 1990 г. основные закономерности действия на иммунную систему полиэлектролитов и их конъюгатов с антигенами были изучены. Удалось найти полиэлектролит с молекулярной массой 60–100 тыс. D, он назван полиоксидонием (рис. 8) и запатентован.

С 1990 по 1996 г. были выполнены все необходимые доклинические и клинические исследования как полиоксидония, так и созданной на его основе противогриппозной вакцины гриппол. Сам полиоксидоний вошел в медицинскую практику как иммуностимулятор. Вакцина производится уже семь лет. Полиоксидоний применяется у взрослых и детей в двух лекарственных формах – в виде инъекций и в свечах. Он показан при разного рода вторичных иммунодефицитах и инфекционно-воспалительных процессах. В 2003 г. произведено почти миллион доз полиоксидония.

В противогриппозной вакцине, построенной на базе полиоксидония, на полиэлектролит “посажены” главные поверхностные антигены вирус-

Сополимер N-окси 1.4-этиленпиперазина и (N-карбоксиэтил)-1.4-этиленпиперазиний бромид

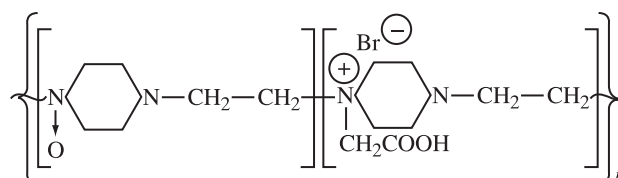


Рис. 8. Химическая формула полиоксидония – первого лекарственного препарата из класса гетероценных алифатических полиаминов

Молекулярная масса 60000–100000 D



Рис. 9. Схема строения и испытания конъюгированной вакцины гриппол

ной частицы – гемагглютинин и нейроминидаза (рис. 9). Защита животных 100%-ная, без полиоксидония защита не превышает 40%. В грипполе, выпущенном в 2003 г., использованы антигены вирусов, распространенных в то время, – A_1A_2 и В. В 2003 г. произведено более 12 млн доз гриппола. Выпускает его Уфимское предприятие “Иммунопрепарат”.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЛЕКАРСТВ

Академик Н.С. Зефирова

Создание новых лекарств – сложный, многостадийный процесс, занимающий 10–15 лет и требующий значительных трудовых и финансовых затрат. В последнее десятилетие постоянно возрастающую и революционизирующую роль в нем играют методы компьютерного молекулярного моделирования и исследования количественной связи между структурой и биологической активностью химических соединений – QSAR (Quantitative Structure–Activity Relationships), которые позволяют значительно сократить сроки разработки лекарств. Рассмотрим важнейшие принципы поиска химических соединений, обладающих лекарственными свойствами.

Основным понятием химии является химическая структура, отражающая способы соединения атомов, входящих в состав молекулы. В принципе может существовать неограниченное количество структур за счет различных комбинаций различных атомов в различных количествах. Огромное число структур встречается в природе и может быть выделено из природных объектов. Однако основным путем получения новых структур является органический синтез. Его современные методы дают возможность получать

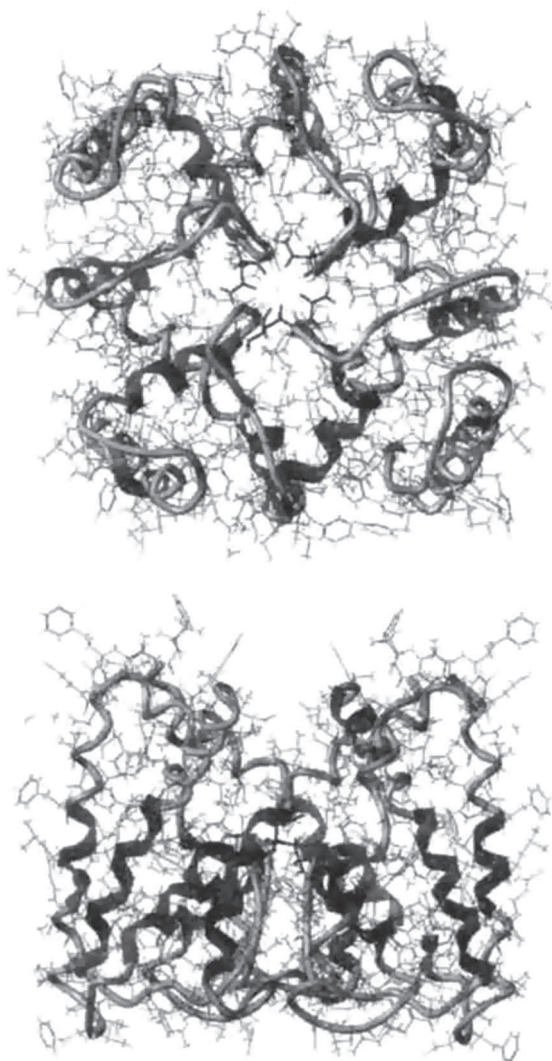
Рис. 1. Модель ионного канала NMDA-рецептора (*a* – вид “сверху”, *b* – вид “сбоку”), построенная по гомологии с калиевым каналом МТНК (Methanothermobacter)

в лабораториях структуры различной сложности. В настоящее время синтезировано и описано более 20 млн соединений.

Таким образом, основная фундаментальная проблема химии – исследование превращений одних структур в другие, то есть соотношения “структура-структура”. В связи с этим необходимо решить ряд задач: генерация структур и их классификация с учетом стереохимии, анализ механизмов и детального хода реакций, планирование синтеза и, наконец, проведение самого органического синтеза.

В то же время для практических целей важно наличие у вещества необходимого комплекса полезных свойств, то есть можно ли использовать данное вещество как лекарство, как краситель или, например, как взрывчатое вещество, и для его потребления совершенно неважно, какую структуру имеет полезное для практики вещество. Химику важна связь свойства вещества с его структурой. Поэтому второй фундаментальной проблемой химической науки является исследование и выявление соотношений “структура-активность” или “структура-свойство”. Эта проблема очень сложна; одним из подходов к ее решению до сих пор остается синтез и последующее тестирование вещества. Создание новых лекарств исторически прошло сложный путь, но до последних лет парадигма поиска лекарств оставалась неизменной: от выделения вещества из природных источников или от сложнейшего многостадийного синтеза к тестированию на лекарственное действие. Этот процесс малоэффективен, так как для выявления нужного вещества приходилось исследовать сотни и тысячи веществ.

Рассмотрим современные подходы к поиску и конструированию структуры лекарств. Прогресс в медицинской химии связан с введением понятия “биомишень – биополимерная молекула (ДНК, фермент или рецептор)”,



свойства которой надо видоизменить за счет действия лекарства. В тех случаях, когда есть информация о пространственном строении необходимой биомишени (как правило, белковой молекулы), применяются методы прямого конструирования, в рамках которых реализуются отдельные этапы методологии “от гена – к лекарству”. Эти методы можно разделить на две группы – виртуальный скрининг в молекулярных базах данных и виртуальное конструирование лигандов. Если нет сведений о строении биомишени, но есть данные о необходимой биоактивности для серии соединений, используются методы непрямого поиска, главным образом QSAR. При отсутствии данных о структуре лигандов и структуре рецептора применяются методы комбинаторной химии и тестирование с большой пропускной способностью. Рассмотрим подробнее перечисленные подходы, начав с последнего.

В условиях, когда нет данных как о строении биомишени, так и о структуре активных соединений, современное направление поиска лекарств базируется на синтезе библиотек соединений методами комбинаторной химии и последующих массовых испытаниях биологической активности методами тестирования с большой пропускной способностью (High throughput screening). Число синтезируемых соединений методами комбинаторной химии при наличии современной робототехники на крупных фирмах достигает десятков и даже сотен тысяч в неделю. Революцию в деле тестирования произвели современные методы с большой пропускной способностью, позволяющие быстро проверять на целевую активность все синтезируемые соединения.

Отметим, что стоимость оборудования и необходимых расходных материалов для комбинаторной химии и особенно для тестирования с большой пропускной способностью составляет миллионы долларов. Отдельной дорогостоящей проблемой при этом становится обработка огромных массивов данных о биологической активности сотен тысяч соединений. Это направление развивается на крупных фармацевтических фирмах.

Ситуация в России в области комбинаторной химии и в сфере тестирования с большой пропускной способностью в настоящее время крайне неудовлетворительная. Если комбинаторная химия существует в коммерческих фирмах, ориентированных на синтез и снабжение веществами потребителей (главным образом западных) и в учебном варианте на химическом факультете МГУ, где проводится как теоретическая, так и практическая (без применения робототехники) подготовка будущих специалистов в этой области, то ситуация в области тестирования с большой пропускной способностью может рассматриваться как катастрофическая. В нашей стране нет ни одной установки для массового тестирования соединений методами робототехники, что ведет к безнадежному *отставанию* в этой области науки. Ввиду исключительной важности вопроса, учитывая высокую стоимость как самого оборудования, так и его эксплуатации, данная проблема может быть решена лишь с помощью специальных организационных мероприятий в рамках РАН и РАМН, ориентированных на создание в нашей стране системы тестирования синтезируемых соединений с большой пропускной способностью.

Методы непрямого поиска, как правило, основаны на методологии QSAR. Для проведения исследований QSAR необходимы исходные дан-

ные, состоящие из набора химических структур с известными значениями активностей. Далее, статистическими методами строится модель “структура-активность” или QSAR-модель. Следующий этап заключается в генерации и дизайне новых структур с заданной активностью на базе построенных моделей. Идет генерация большого количества гипотетических структур; предсказание для них активности на основе QSAR-моделей; автоматическая селекция структур с требуемыми значениями активности; анализ их синтетической доступности; последующий синтез и практические испытания. Таким образом, процесс создания новых соединений носит итерационный характер: после синтеза и экспериментальных исследований серии соединений проводятся новые исследования QSAR, и затем конструируются новые структуры, идет их синтез, тестирование, и вновь осуществляются исследования QSAR с учетом данных для новых соединений, и т.д.

Хорошие результаты дают методы, базирующиеся на топологическом совмещении структур с известной биоактивностью и на анализе ее связи с локальными (атомными) параметрами (например, метод MFTA [1, 2]).

Важным направлением разработок в области QSAR стало применение методологии искусственных нейронных сетей (ИНС) [3]. Обычно нейронные сети для QSAR включают входной слой нейронов (он получает рассчитанные значения дескрипторов), промежуточный слой и выходной слой нейронов, соответствующих прогнозируемым свойствам. Благодаря применению ИНС с использованием базы данных “структура-активность” происходит оптимизация параметров нейронной сети таким образом, что в результате преобразования значений дескрипторов получаются наиболее точные значения активности. Нейросетевые модели могут воспроизводить нелинейные зависимости и обеспечивают высокую точность прогнозирования активности структур [3].

В последние годы большое значение приобрела априорная (до проведения синтеза) компьютерная оценка параметров, характеризующих всасывание, распределение, метаболизм, выделение и возможную токсичность лекарственных веществ (ADMET). Ранее оценка таких параметров проводилась экспериментальными методами, и значительное число веществ синтезировалось напрасно.

В последнее десятилетие большие успехи были достигнуты при использовании трехмерных подходов, основанных на картировании биомишени путем определения формы места связывания исходя из структурных данных о лигандах и данных об их связывании. К таким методам относится CoMFA (метод сравнительного анализа молекулярного поля [4]), и CoMSIA (метод сравнительного анализа индексов молекулярного сходства). Такие методы позволяют сделать обоснованные выводы о строении биомишени и характере связывания с ней лигандов [5, 6]. К сожалению, эти методы являются составной частью дорогостоящих коммерческих программных комплексов и практически недоступны в России.

Рассмотрим направления, основанные на знании строения биомишени. В настоящее время в общедоступных базах данных имеются координаты атомов для тысяч белков, полученные методами рентгеноструктурного анализа или ЯМР. Эти данные могут служить в качестве базового знания

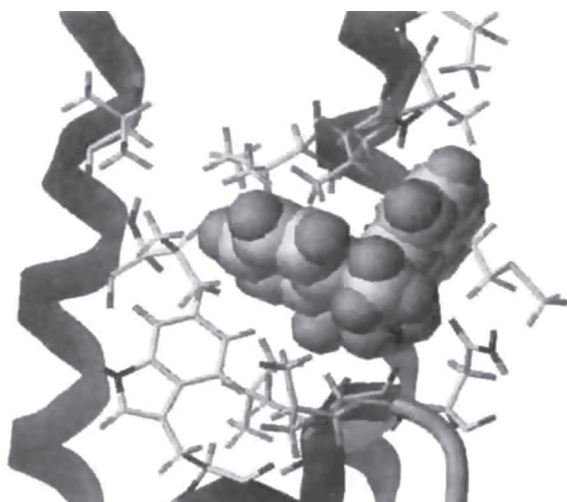


Рис. 2. Связывание МК-801 (препарат Dizocilpine – неконкурентный антагонист NMDA рецепторов) с фенциклидиновым сайтом NMDA рецептора

можно компьютерное построение пространственной модели белка-биомишени, например, по гомологии с белками, имеющими известную пространственную структуру. Информация же о точечных мутациях, влияющих на связывание лигандов, помогает определить сайт связывания лигандов.

Такие методы успешно использовались нами для моделирования ионотропных [6–8] и метаботропных глутаматных рецепторов [9–10], которые могут служить мишенями при лечении нейродегенеративных заболеваний. В качестве примера на рисунках приведена молекулярная модель канала NMDA-рецептора (рис. 1), которая позволила сконструировать новые активные аналоги блокатора кальциевых каналов МК-801 (рис. 2, 3). В Институте физиологически активных веществ РАН с целью направленного поиска новых типов нейропротекторов и когнитивных стимуляторов был осуществлен синтез и проведены исследования конформационно подвижных аналогов МК-801 [8]. В результате найдены перспективные нейропротекторные соединения, не дающие, в отличие от МК-801, побочных эффектов в экспериментах на животных.

Интересным направлением является виртуальный скрининг (тестирование) в молекулярных базах данных, который предназначен для выявления

активных структур компьютерными методами. Он включает следующие этапы:

- подготовка модели биомишени: расстановка зарядов на атомах, расчет молекулярных поверхностей;

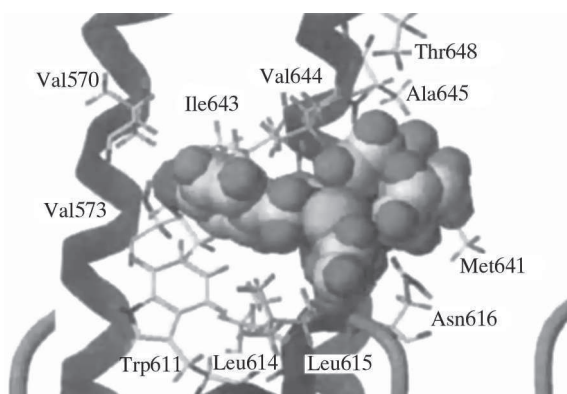


Рис. 3. Соединение NT-1505 менее жестко связывается с внутриканальным сайтом NMDA-рецептора за счет конформационной подвижности и характеризуется меньшими побочными эффектами

- подготовка баз данных структур органических соединений: удаление протоионов, протонирование и депротонирование в соответствии с физиологическим pH, расчет физико-химических свойств, моделирование пространственной структуры соединений в базах данных, расчет зарядов на атомах;

- препроцессинг баз данных: удаление структур по критериям, основанным на допустимых значениях оценок физико-химических свойств, в частности липофильности, допустимому интервалу молекулярной массы, по количеству доноров и акцепторов водородной связи, по предсказанной токсичности и т.д.;

- молекулярный докинг структур из баз данных в модель биомишени с помощью программ, основанных на оценочных функциях, и отбор потенциальных лигандов;

- постпроцессинг сформированных баз потенциальных лигандов с помощью моделей QSAR, в результате чего мы получаем сфокусированную библиотеку потенциальных лигандов для данной биомишени.

Следует отметить, что проблема разработки универсальных и надежно работающих оценочных функций (позволяющих оценить взаимодействие молекулы-лиганда с биомишенью в процессе молекулярного докинга) до сих пор не решена. Однако для каждой из биомишеней возможна дополнительная “адаптация” таких функций, позволяющая получать надежные результаты докинга. Несмотря на очевидную важность этого направления, оно ограничивается недоступностью или высокой стоимостью соответствующих программных комплексов.

Современная медицинская химия, посвященная структурному дизайну новых лекарств, переживает революционные изменения. К сожалению, большинство из рассмотренных современных методов конструирования лекарств (как экспериментальных, так и компьютерных) *практически* недоступны в России; они применяются лишь в немногих организациях. Поэтому нужно создать крупные центры, оснащенные необходимым оборудованием и комплексами компьютерных программ для разработки новых лекарств на современном уровне. Создание структуры, обеспечивающей проведение массового скрининга, следует рассматривать как одну из наиболее приоритетных организационных задач.

Благодарю В.А. Палюлина за помощь в подготовке доклада.

Литература

1. Зефирова Н.С., Палюлин В.А., Радченко Е.В. Метод анализа топологии молекулярного поля в исследованиях количественной связи между структурой и активностью органических соединений // Доклады АН. Серия химическая. 1997. № 5.
2. Palyulin V.A., Radchenko E.V., Zefirov N.S. Molecular Field Topology Analysis Method in QSAR Studies of Organic Compounds // J. Chem. Inf. Comput. Sci. 2000. V. 40.
3. Гальберштам Н.М., Баскин И.М., Палюлин В.А., Зефирова П.С. Нейронные сети как метод поиска зависимостей структура-свойство органических соединений // Успехи химии. 2003. № 7.
4. Cramer R.D., Patterson D.E., Bunce J.D. Comparative Molecular Field Analysis (CoMFA). 1. Effect of Shape on Binding of Steroids to Carrier Proteins // J. Am. Chem. Soc. 1988. V. 110. P. 5959–5967.

5. *Baskin I.I., Tikhonova I.G., Palyulin V.A., Zefirov N.S.* Selectivity Fields: Comparative Molecular Field Analysis (CoMFA) of the Glycine/NMDA and AMPA Receptors // *J. Med. Chem.* 2003. V. 46. P. 4063–4069.
6. *Tikhonova I.G., Baskin I.I., Palyulin V.A., Zefirov N.S.* CoMFA and Homology-Based Models of the Glycine Binding Site of N-Methyl-D-aspartate Receptor // *J. Med. Chem.* 2003. V. 46. P. 1609–1616.
7. *Tikhonova I.G., Baskin I.I., Palyulin V.A., Zefirov N.S., Bachurin S.O.* Structural Basis for Understanding Structure-Activity Relationships for the Glutamate Binding Site of the NMDA Receptor // *J. Med. Chem.* 2002. V. 45. P. 3836–3843; 5608.
8. *Bachurin S., Tkachenko S., Baskin I., Lermontova N., Mukhina T., Petrova L., Ustinov A., Proshin A., Grigoriev V., Lukoyanov N., Palyulin V., Zefirov N.* Neuroprotective and Cognition-enhancing Properties of MK-801 Flexible Analogs. Structure-Activity Relationships // *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2001. V. 939. P. 219–236.
9. *Беленикин М.С., Баскин И.И., Костантино Г., Палюлин В.А., Пелличари Р., Зефирова Н.С.* Сравнительный анализ лигандсвязывающих сайтов метаботропных глутаматных рецепторов mGluR1-mGluR8 // Доклады АН. Серия биохимия, биофизика, молекулярная биология. 2002. № 2.
10. *Беленикин М.С., Костантино Г., Палюлин В.А., Пелличари Р., Зефирова Н.С.* Молекулярное моделирование трансмембранного домена метаботропного глутаматного рецептора mGluR1 // Доклады АН. Серия биохимия, биофизика, молекулярная биология. 2003. № 6.

ОЛИГОНУКЛЕОТИДЫ – ОСНОВА ГЕН-НАПРАВЛЕННЫХ ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Академик В.В. Власов

Расшифровка генома человека и геномов инфекционных агентов дала возможность создать радикальные подходы к терапии большинства заболеваний, избирательно воздействуя на их первопричину – генетические программы, ответственные за развитие патологических процессов. Препараты, направленные на определенные генетические программы, могут быть разработаны на основе фрагментов нуклеиновых кислот, олигонуклеотидов, способных избирательно взаимодействовать с заданными нуклеотидными последовательностями в составе программ-мишеней.

Впервые идея создания биологически активных веществ на основе олигонуклеотидов, несущих реакционноспособные группы, была сформулирована в 60-х годах в Новосибирском научном центре Д.Г. Кнорре и Н.И. Гриневой [1]. Российские ученые показали, что олигонуклеотиды с реакционноспособными группами действительно могут избирательно реагировать с комплементарными участками в нуклеиновых кислотах. Сейчас работы по конструированию ген-направленных биологически активных веществ на основе олигонуклеотидов широко развернуты во всех развитых странах. Синтезированы разнообразные химически измененные аналоги олигонуклеотидов, исследована их фармакокинетика и показана возможность воздействия ими на генетические программы клеток и нуклеиновые кислоты инфекционных агентов [2].

Регуляция экспрессии генов под действием олигонуклеотидов возможна на различных уровнях (рис. 1). “Антисмысловые олигонуклеотиды”, комплементарные последовательности мРНК, подавляют экспрессию генов на

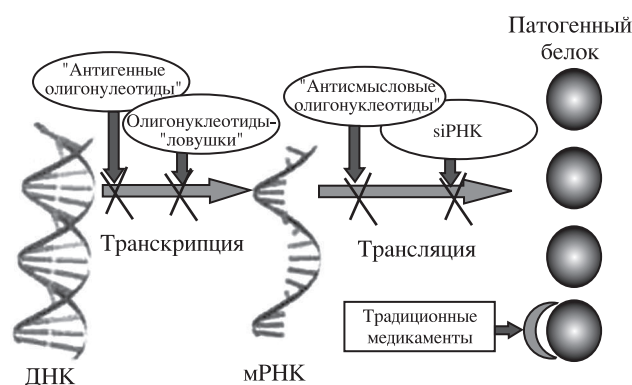


Рис. 1. Регуляция экспрессии генов на разных уровнях с помощью препаратов на основе олигонуклеотидов

стадии трансляции. “Антигенные олигонуклеотиды”, образующие комплексы с ДНК, способны регулировать экспрессию гена на уровне транскрипции, препятствуя взаимодействию белков с регуляторными участками генов [3]. В настоящее время на основе антисмысловых и антигенных олигонуклеотидов разрабатываются терапевтические препараты для регуляции экспрессии онкогенов (с-мус, с-fos, N-ras, bcl/abl) и подавления вирусных инфекций.

Возможности разных подходов к подавлению экспрессии генов производными олигонуклеотидов могут быть продемонстрированы результатами работ по подавлению гена *MDR1*, выполненных в Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН.

Ген *MDR1* является одной из важных терапевтических мишеней, его гиперэкспрессия приводит к возникновению синдрома множественной лекарственной устойчивости (МЛУ). Ген кодирует Р-гликопротеин, АТФ-зависимый трансмембранный транспортный белок, действующий как мембранный насос и эффективно снижающий внутриклеточную концентрацию ряда терапевтических препаратов [4]. Устойчивость опухолевых клеток к терапевтическим препаратам представляет серьезную проблему при лечении раковых заболеваний. В связи с этим в последние годы интенсивно ведутся работы, направленные на создание средств избирательного подавления экспрессии данного гена. Прямым подходом к ингибированию экспрессии гена *MDR1* может служить подавление функции соответствующих нуклеиновых кислот препаратами олигонуклеотидов.

На стадии транскрипции, экспрессия гена может быть подавлена благодаря использованию прочно связывающихся с ДНК LNA-аналогов олигонуклеотидов. Структура составляющих их нуклеотидов зафиксирована таким образом, что они образуют с ДНК более прочные комплексы, чем природные ДНК. Поэтому LNA способны “внедряться” в структуру ДНК и образовывать комплексы с одной из ее цепей, вытесняя вторую цепь.

Мы исследовали взаимодействие алкилирующего производного LNA с фрагментом промотора гена *MDR1*; было доказано, что реагент способен специфически связываться с комплементарной последовательностью – мишенью по механизму вытеснения цепи [5]. Этот и другие LNA олигонук-

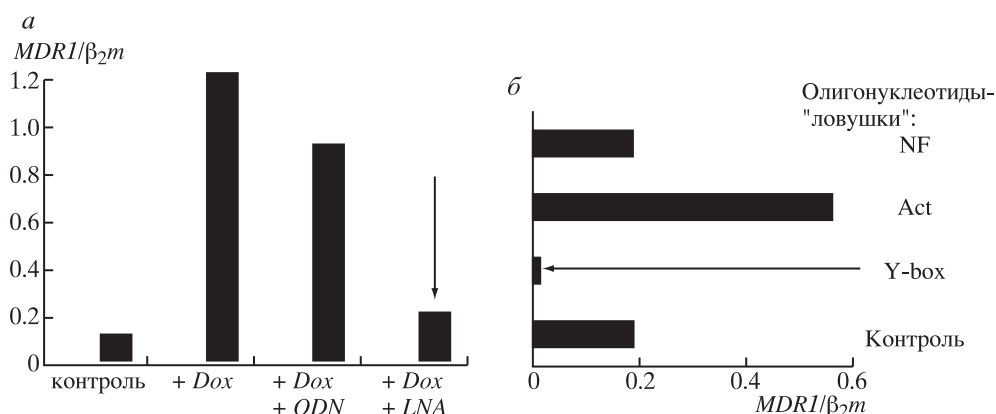


Рис. 2. “Антигенные” олигонуклеотиды предотвращают активацию гена *MDR1* под действием цитостатиков

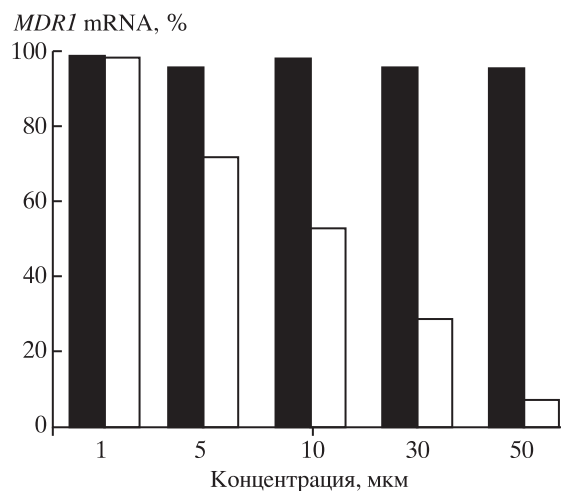
a – клетки линии K562 обрабатывали доксорубицином (Dox) в присутствии LNA или немодифицированного олигонуклеотида такой же последовательности (ODN); *б* – клетки линии HeLa обрабатывали винбластином в присутствии “олигонуклеотидных ловушек” NF, Act и Y-box. В качестве контроля использовали необработанные клетки. Через 6 ч из клеток выделяли РНК и определяли уровень мРНК гена *MDR1* методом ОТ-ПЦР с использованием мРНК гена бета-микроглобулина (β_2m) в качестве внутреннего стандарта

леотиды применялись для регуляции экспрессии гена *MDR1* в клетках K562 и HeLa, в которых активация гена *MDR1* индуцировалась цитостатиками. В опытах был идентифицирован LNA-олигонуклеотид, способный значительно снижать уровень *MDR1* мРНК в клетках HeLa и полностью ингибировать экспрессию гена *MDR1* в клетках линии K562 (рис. 2). Обнаружено, что LNA-олигонуклеотиды могут не только предотвращать развитие синдрома множественной лекарственной устойчивости, но и обращать уже сформировавшийся фенотип МЛУ: обработка лекарственно устойчивой линии KB-8-5 с помощью LNA-олигонуклеотидов приводит к восстановлению чувствительности клеток к винбластину. Таким образом, LNA-олигонуклеотиды могут рассматриваться в качестве потенциальных препаратов для подавления экспрессии гена *MDR1*.

Для воздействия на экспрессию гена на уровне транскрипции возможно использовать двухцепочечные олигонуклеотиды, содержащие последовательности промотора гена и способные конкурентно связывать транскрипционные факторы. Для получения таких олигонуклеотидов-“ловушек” двухцепочечными олигонуклеотидами были смоделированы четыре регуляторные области промотора гена *MDR1*: участок Y-box (Y-b), сайт связывания активатора (Act), GC – богатая последовательность и область связывания фактора NF-IL6 (NF-IL). Анализ связывания факторов транскрипции в клетках линий KB и K-562 с этими олигонуклеотидами показал, что в процессе активации гена *MDR1* в ответ на обработку цитостатиками происходит усиление связывания транскрипционных факторов со всеми четырьмя олигонуклеотидами. Исследуемые олигонуклеотиды использовали для подавления экспрессии гена *MDR1* в клетках различных типов [6]. Было обнаружено полное подавление экспрессии гена *MDR1* в клетках линии Molt3 при действии олиго-

Рис. 3. Ингибирование экспрессии гена *MDR1* производным “антисмыслового” олигодезоксирибонуклеотида, несущего на 5'-конце бис-пиренильную и на 3'-конце аминокгексильную группировки в клетках лекарственно устойчивой линии KB-8-5

Клетки культивировали в присутствии 300 нМ винбластина, обрабатывали производным антисмыслового олигонуклеотида (белые столбики) или производным некомплементарного олигонуклеотида (черные столбики) в среде без сыворотки. Через 24 часа из клеток выделяли РНК и определяли уровень мРНК гена *MDR1* методом ОТ-ПЦР с использованием мРНК гена бета-микроглобулина в качестве внутреннего стандарта



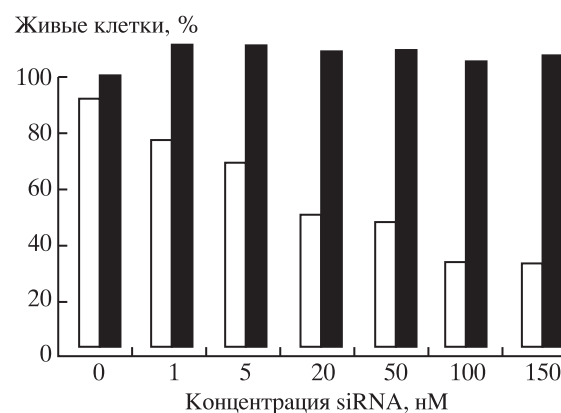
нуклеотидов Act или Y-b (рис. 3). В клетках линии Hela полное подавление экспрессии наблюдалось при действии олигонуклеотида Y-b. В клетках линии K-562 ингибирования экспрессии не наблюдалось. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования олигонуклеотидов, имитирующих область Y-box, сайт связывания активатора (Act), GC – богатую последовательность и область связывания фактора NF-IL6 в качестве агентов для подавления экспрессии гена *MDR1*.

Антисмысловые олигонуклеотиды регулируют экспрессию гена на уровне трансляции – путем образования комплекса олигонуклеотида с мРНК, приводящего к ее разрушению под действием РНКазы Н, либо инактивации вследствие нарушения взаимодействия РНК с ферментами трансляции. Для подавления экспрессии гена *MDR1* в ряде лабораторий применялись обычные олигонуклеотиды, фосфотиоатные аналоги и метилфосфонатные производные олигонуклеотидов, комплементарные различным участкам мРНК *MDR1*. Испытывавшиеся до настоящего времени препараты не обладали достаточной эффективностью, необходимой для преодоления синдрома лекарственной устойчивости. Одной из причин неудач мог быть выбор мишени в структуре мРНК.

Нами на основании данных ферментативного пробинга и компьютерного моделирования была выбрана серия анти-

Рис. 4. мРНК восстанавливают чувствительность раковых клеток человека KB-8-5 к винбластину

Клетки KB-8-5 обрабатывали siРНК, комплементарной экзону мРНК гена *MDR1* (белые столбики) и контрольной некомплементарной siРНК (черные столбики). Клетки культивировали в присутствии 300 нМ винбластина и через 4 сут определяли количество живых клеток с помощью МТТ-теста



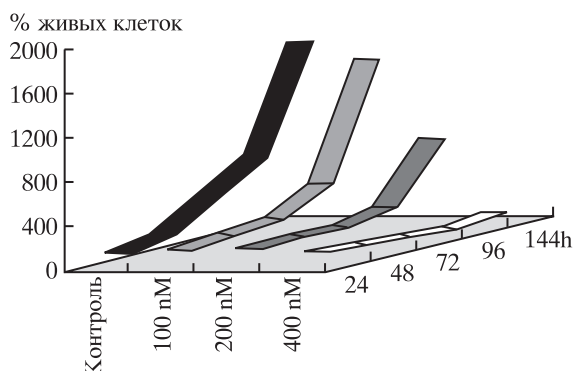


Рис. 5. мРНК ингибирует пролиферацию клеток карциномы KB-3-1. К клеткам добавляли комплекс siРНК и Oligolectamine и культивировали указанное на диаграмме время. Количество живых клеток определяли по МТТ тесту. За 100% принято исходное количество клеток

смысловых олигонуклеотидов, комплементарных различным участкам *MDR1* РНК. Олигонуклеотиды, обладающие наилучшей способностью свя-

зываться с мРНК в опытах *in vitro*, были использованы для ингибирования экспрессии *MDR1* мРНК в культуре клеток эпидермоидной карциномы человека KB-8-5, которая обладает фенотипом МЛУ вследствие повышенной экспрессии гена *MDR1*. Олигонуклеотид, не способный связываться с *MDR1* мРНК *in vitro*, был использован в качестве контроля. Для оценки неспецифического эффекта олигонуклеотидов использовали олигонуклеотид со случайной последовательностью, не имеющий участков комплементарности в *MDR1* мРНК.

Ингибирование экспрессии генов производными олигодезоксирибонуклеотидов происходит за счет расщепления РНК-мишени в гибридных дуплексах РНК-олигонуклеотид ферментом РНКазой Н. Поэтому эффективность действия олигонуклеотидов может быть оценена по снижению уровня целевой мРНК в клетках. Модифицированный олигонуклеотид, комплементарный недоступному для связывания участку *MDR1* мРНК, и олигонуклеотид со случайной последовательностью не вызывали изменения уровня мРНК (рис. 4). Обработка клеток линии KB-8-5 конъюгатом олигонуклеотида, продемонстрировавшим наилучшую способность к связыванию с мишенью *in vitro*, приводила к 90%-ному снижению уровня *MDR1* мРНК [7]. Используя модифицированный производный олигодезоксирибонуклеотида, несущего на 5'-конце бис-пиренильную и на 3'-конце аминогексильную группировки, удалось добиться практически полного подавления экспрессии *MDR1* мРНК.

Исследования механизмов регуляции активности генов в последние годы привели к обнаружению мощного механизма, заключающегося в способности двуцепочечных РНК (дцРНК) эффективно и избирательно подавлять экспрессию генов, содержащих гомологичные нуклеотидные последовательности. Это явление получило название РНК-интерференции. При попадании дцРНК в клетку происходит фрагментирование ее на короткие дуплексы длиной 19–21 пар нуклеотидов с двумя выступающими нуклеотидами на 3'-конце, которые в составе комплекса с белками образуют каталитические структуры, вызывающие направленную деградацию комплементарной им РНК-мишени [8]. Ингибирование генной активности с помощью дцРНК легко достигается в *Caenorhabditis elegans* и *Drosophila*, и широко используется для установления функций определенных генов этих организмов [9].

Механизм разрушения определенных мРНК в клетках млекопитающих также может быть запущен, если использовать не протяженные двуцепочечные РНК, а короткие синтетические дуплексы, имитирующие фрагменты РНК, получающиеся в ходе вышеописанной фрагментации РНК, так называемые малые интерферирующие РНК (siРНК) [8]. Уже начато применение олигонуклеотидов временного выключения определенных генов в клетках млекопитающих. Двуцепочечная РНК оказывает мощный эффект и проявляется активность в чрезвычайно низких концентрациях.

Создание регуляторов экспрессии генов на основе дцРНК, действующих по механизму РНК-интерференции, открывает новые возможности для получения широкого спектра высокоэффективных нетоксичных препаратов для подавления экспрессии практически любых, в том числе вирусных, генов. В опытах на клеточных культурах и на животных показана возможность блокирования малыми интерферирующими РНК вирусных инфекций [10].

Нами исследовано действие двуцепочечного олигорибонуклеотида на экспрессию гена *MDR1* в культуре раковых клеток человека [11, 12].

Для ингибирования экспрессии Р-гликопротеина и обращения фенотипа множественной лекарственной устойчивости в клетках линии KB-8-5, характеризующихся высоким уровнем экспрессии гена *MDR1*, мы использовали комплексы синтетических олигорибонуклеотидов. Антисмысловые цепи исследовавшихся комплексов были комплементарны различным последовательностям мРНК гена *MDR1*.

Мишени в мРНК выбирались в соответствии с результатами наших экспериментов с использованием антисмысловых олигонуклеотидов [7] с различными гибридизационными свойствами, с учетом данных других опубликованных исследований [13].

Способность siРНК подавлять экспрессию гена *MDR1* исследовали по восстановлению чувствительности клеток KB-8-5 к винбластину. Клетки обрабатывали олигонуклеотидами в присутствии катионного липида, облегчающего проникновение нуклеиновых кислот в клетки (Oligo-fectamine™). В результате исследований были идентифицированы несколько siРНК, способных в наномолярных концентрациях вызывать концентрационно зависимое изменение чувствительности клеток к винбластину, приводящее к их гибели (рис. 5).

Для тестирования активности Р-гликопротеина клетки, обработанные siРНК, инкубировали в присутствии родамина-123, являющегося субстратом Р-гликопротеина. Оказалось, что обработка клеток 20 нМ siРНК подавляет механизм вывода красителя и лекарств из клетки. При обработке клеток химически модифицированным аналогом siРНК, содержащим на 3'-концах по два 2'-0-метильных звена и инвертированную 3'-3' связь, уже через 72 часа происходило снижение количества р-гликопротеина в клетках до 5% от исходного уровня [14]. Этот олигонуклеотидный препарат сегодня является наиболее эффективным из описанных анти-MDR препаратов на основе олигонуклеотидов.

Технология создания специфических ингибиторов генов, основанная на двухцепочечных рибонуклеиновых кислотах, является универсальной. Так, используя вышеописанные подходы нами были получены ингибиторы протоонкогена. Белок MYC является транскрипционным фактором и играет

важную роль в регуляции клеточного цикла. Амплификация, провирусные инсерции и хромосомные транслокации, затрагивающие ген *c-myc* и его регуляторные элементы, могут приводить к его гиперэкспрессии и злокачественному перерождению клеток [15]. Гиперэкспрессия гена *c-myc* является одним из ключевых факторов, ответственных за малигнизацию в таких опухолях, как нейробластомы.

Для подавления экспрессии протоонкогена *c-myc* мы использовали двуцепочечную 21-звенную интерферирующую РНК. Двуцепочечная siRNA была получена с помощью транскрипции *in vitro* на коротких ДНК-матрицах. Эксперименты по подавлению экспрессии гена *c-myc* проводились на клетках KB-3-1, полученных от больного карциномой ротовой полости, и клетках нейробластомы SK-N-MC и IMR-32. Было показано, что при инкубировании клеток в присутствии 75 нМ siRNA наблюдается 20-кратное снижение уровня *c-myc* мРНК по сравнению с содержанием этой мРНК в контрольных клетках [16]. Снижение уровня экспрессии гена *c-myc* должно было приводить к уменьшению скорости деления клеток. Мы исследовали влияние siРНК на скорость клеточной пролиферации. Было показано, что при инкубировании клеток в присутствии 200 нМ siRNA в течение 48 часов наблюдается 4-кратное снижение скорости пролиферации и эффект сохраняется, по крайней мере, в течение 96 часов.

Подобное снижение скорости пролиферации клеток терапевтически значимо, и полученная siRNA может быть применена для подавления экспрессии гена *c-myc* в различных опухолевых клетках.

Данные свидетельствуют о том, что эффективность РНК-интерференции по сравнению с антисмысловыми олигонуклеотидами в меньшей степени зависит от локализации последовательности-мишени в структуре РНК. Исследованные siРНК проявляли активность в наномолярных концентрациях, вызывали обращение фенотипа множественной лекарственной устойчивости опухолевых клеток и снижали скорость их пролиферации. Такие олигонуклеотиды могут рассматриваться как основа терапевтических препаратов для повышения эффективности химиотерапии раковых заболеваний. Создание регуляторов экспрессии генов на основе двуцепочечных РНК, действующих по механизму РНК-интерференции, может открыть новые возможности в создании эффективных средств терапии различных заболеваний.

Литература

1. Belikova A.M., Zarytova V.F., Grineva N.I. // Tetrahedron Lett. 1967. V. 37. P. 3557–3562.
2. Antisense Drug Technology / Ed. S.T. Crooke. New York-Basel: Marcel Dekker, Inc., 2001.
3. Sun J.S., Helene C. // Nucleosides, Nucleotides & Nucleic Acids. 2003. V. 22. № 5–8. P. 489–505.
4. Scotto K.W. // Oncogene. 2003. V. 22. P. 7496–7511.
5. Chernolovskaya E.L., Koshkin A.A., Vlassov V.V. // Nucleotides and Nucleosides. 2001. V. 20. № 4–7. P. 847–850.
6. Shatskaya N.V., Bozhenok L.N., Chernolovskaya E.L., Vlassov V.V. // Proceedings of the second international conference on bioinformatics of genome regulation and structure. 2000. P. 12–15.
7. Kostenko E., Dobrikov M., Pyshnyi D., Petyuk V., Komarova N., Vlassov V., Zenkova M. // Nucleic Acids Res. 2001. V. 29. № 17. P. 3611–3620.

8. Wall N.R., Shi Y. // *Lancet*. 2003. V. 362. P. 1401–1403.
9. Pickford A.S., Cogoni C. // *Cell. Mol. Life Sci*. 2003. V. 60. P. 871–882.
10. Cottrell T.R., Doering T.L. // *Trends Microbiol*. 2003. V. 11. P. 37–43.
11. Логашенко Е.Б., Черноловская Е.Л., Владимирова А.В., Репкова М.Н., Веняминова А.Г., Власов В.В. // Доклады АН. Серия химическая. 2002. № 2.
12. Logashenko E.B., Vladimirova A.V., Chernolovskaya E.L., Repkova M.N., Venyaminova A.G., Vlassov V.V. // *Nucleosides, Nucleotides & Nucleic Acids*. 2004 (in press).
13. Elbashir S.M., Harborth J., Klaus W., Tuschel T. // *Methods*. 2002. V. 26. № 2. P. 199–213.
14. Logashenko E.B., Vladimirova A.V., Repkova M.N., Venyaminova A.G., Chernolovskaya E.L., Vlassov V.V. // *FEBS Lett*. 2004.
15. Hermeking H. // *Curr. Cancer Drug Target*. 2003. V. 3. P. 163–175.
16. Kabilova T.O., Chernolovskaya E.L., Vladimirova A.V., Vlassov V.V. // *Nucleosides, Nucleotides & Nucleic Acid*. 2004 (in press).

ПОСТГЕНОМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ МЕДИЦИНА

Академик РАН А.И. Арчаков

Прочтение многих геномов кардинальным образом изменило направление развития современной медицины, и еще большие изменения можно предвидеть в недалеком будущем. Приоритетной задачей современной медицины является внедрение новых технологий в повседневную практику. Наблюдаемые темпы технологического развития таковы, что игнорирование достижений постгеномной эры, попытка остаться в стороне чревата не только временным отставанием, но и исчезновением ряда стран с научной карты мира.

Термин “молекулярная медицина” обозначает науку, занимающуюся исследованием механизмов развития патологических процессов, а также проблемами диагностики и лечения на молекулярном уровне. Постгеномные технологии возникли на основе наших знаний о геномах живых систем и, в первую очередь, генома человека. Важно отметить, что постгеномные технологии не заменили существовавшие ранее геномные подходы, а представляют собой их естественное развитие на качественно новом уровне.

Можно выделить ряд приоритетных задач, решаемых сегодня с помощью постгеномных технологий [1]:

- генотипирование 2 тыс. человек (по 400 тыс. однонуклеотидных замен у каждого) по цене 10 тыс. долл. за генотип (или меньше);
- разработка и внедрение методики секвенирования ДНК на 4–5 порядков более дешевой, чем существующие, то есть геном человека должен стоить ~1000 долл.;
- создание технологий синтеза молекул ДНК (синтетические гены, геномы) по цене до 10 центов за основание, то есть стоимость синтеза одного гена должна быть от 10 до 10 тыс. долл.;
- разработка методов определения метилирования ДНК в одной клетке;
- создание технологии, позволяющих проводить одномоментный мониторинг всех белков в клетке.

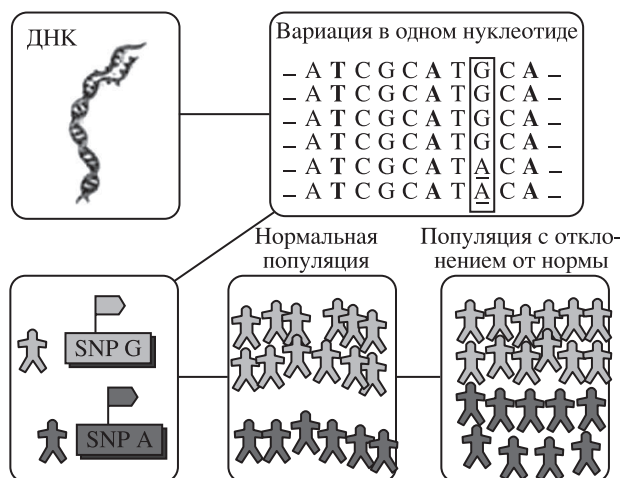


Рис. 1. Single Nucleotide Polymorphism (SNP) в нормальной популяции и в популяции с предрасположенностью к какому-либо заболеванию

Среди указанных приоритетов можно выделить четыре, наиболее привлекательные с точки зрения насущных задач молекулярной медицины. Далее рассмотрим их более подробно.

Технологии определения геномного полиморфизма. “В мире не существует двух индивидуумов с абсолютно одинаковым метаболизмом. Индивидуальные различия активности ферментов в печени могут быть причиной различий в ответной реакции пациентов на лекарство”, – важность этих слов, принадлежащих А. Гарроду [2], сложно переоценить в свете последних достижений молекулярной медицины. Работы по уточнению генома человека, ведущиеся с момента его опубликования в 2001 г., выявили, что в среднем различия между индивидуумами составляют до 0.1% суммарной длины генов (их число оценивается по разным данным от 30 до 40 тыс.). Десятая доля процента генома – это около 3 млн оснований, и простейший математический подсчет показывает, что вариантов генома может быть около 10^6 , а комбинаций из этих вариантов – десять в миллионной степени! Если учесть, что все население земного шара составляет 6×10^9 , то можно с уверенностью заключить: комбинаторные ресурсы природы практически неиссякаемы.

Каждый вариант генома может содержать в себе сигналы, указывающие на предрасположенность конкретного индивидуума к развитию определенного рода заболеваний. Сигналы эти зачастую очень незначительны и заключаются в замене одного нуклеотида в цепочке ДНК на другой (рис. 1). Эти замены получили название однонуклеотидных – Single Nucleotide Polymorphism (SNP).

Важно подчеркнуть, что наличие SNP в большинстве случаев указывает лишь на вероятность развития патологии. Со статистической точки зрения, картина выглядит как значимое преобладание людей с большей вероятностью заболеть в популяции, для членов которой характерно присутствие в геноме конкретного SNP (см. рис. 1). Отсюда важный вывод: зная заранее о SNP, можно, повлияв на факторы внешней среды, снизить вероятность

развития заболевания, если провести соответствующие индивидуальные профилактические мероприятия.

Следует оговориться, что большинство заболеваний, таких как псориаз, шизофрения, диабет, обусловлены комбинацией малоэффективных генных вариантов, другими словами, обусловлены не единичным SNP, а их набором, локализованным в различных генах. При наличии четкой взаимосвязи между дефектом одного гена и развитием патологии можно говорить о ее наследственном характере. Однако на долю наследственных приходится лишь 2–5% всех заболеваний, остальные связаны с нарушением целого ансамбля генов, а значит, зависят от индивидуального профиля многих однонуклеотидных замен и/или нарушения экспрессии группы генов.

Наглядной иллюстрацией взаимосвязей между геномом и предрасположенностью к заболеваниям являются исследования, проводимые на близнецах. В настоящее время в медицине прочно установилась тенденция изучать на них подверженность различным заболеваниям (рис. 2). При таких заболеваниях, как псориаз, дефект генома, если он проявится у одного из близнецов, обязательно проявится и у другого. При других заболеваниях, например, рассеянном склерозе, несмотря на то, что геномы близнецов идентичны, один из них заболевает, тогда как другой остается здоровым, то есть близнецы “расходятся” (см. рис. 2). Однако нельзя утверждать, что эти заболевания не зависят от особенностей генома [3].

Чтобы оценить медицинскую значимость SNP, рассмотрим задачи, сформулированные в качестве основных для здравоохранения США на последующие пять лет. Во-первых, необычным является предложение не только идентифицировать геномы и метаболические пути, ответственные за заболевание, но и изучать геномы здоровых людей. Необходимо выяснить, какие именно генетические особенности позволяют людям, живущим в сравнительно унифицированных условиях развитого общества, оставаться здоровыми, тогда как их соседи заболевают. Во-вторых, важной задачей считается создание геномных диагностических методов, предсказание предрасположенности здорового человека к различным заболеваниям, определение индивидуальной лекарственной чувствительности, проведение ранней диагностики заболеваний и разработка молекулярной классификации болезней. Наконец, третьей задачей “пятилетки” называется разработка методов, ускоряющих применение геномной информации в реальной терапевтической практике [1].

Обобщая вышесказанное, подведем некоторые итоги и позволим себе заглянуть хотя бы на год вперед. Что требуется анализировать при генотипировании?

Во-первых, SNP, ассоциированные с заболеваниями, а во-вторых, SNP, ответственные за фармакокинетику и фармакодинамику лекарств. Решив обе задачи в отношении отдельного индивидуума, можно создать его “геномный паспорт”. И подобно тому, как сейчас гражданский паспорт служит документом, удостоверяющим личность, геномный паспорт будет, кроме идентификации личности, предназначаться и для выбора индивидуумом соответствующего образа жизни. На его основе можно будет определять персонализированное лечение, воплощая в жизнь золотой стандарт современной медицины: каждому больному – свое лекарство в нужное время и

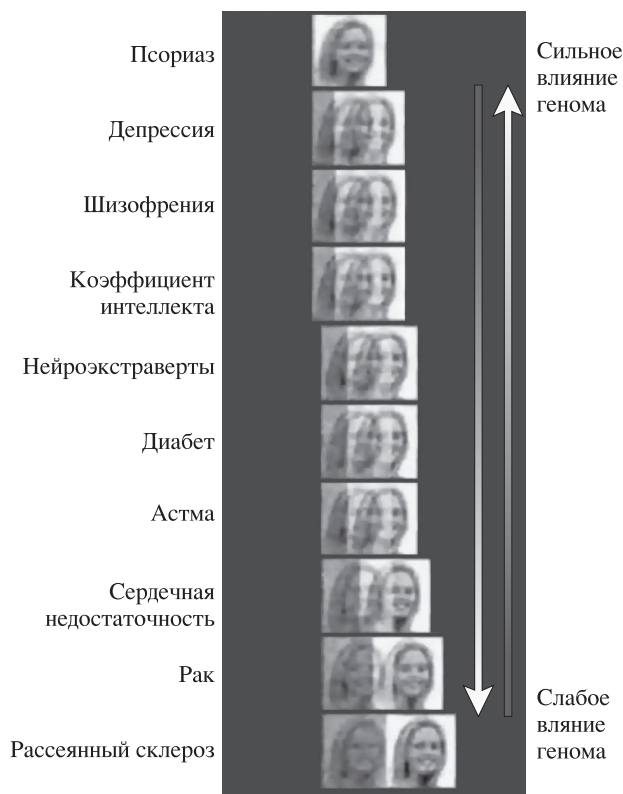


Рис. 2. Взаимосвязь генотипа с веростностью развития болезни у близнецов

в нужной дозе. В 2003 г. в НИИ физико-химической медицины Минздрава России совместно с НИИ биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича РАМН осуществлен анализ около 150 SNP, к середине 2004 г. можно прогнозировать увеличение числа анализируемых SNP до 350, и к концу 2004 г. – до 3000. Технологические мощности для выхода на этот уровень генотипирования уже существуют, а это значит, что проведение масштабной геномной паспортизации, хотя бы в рамках мегаполиса, – реальная задача.

Компьютерные технологии создания новых лекарств. В настоящее время рынок, казалось бы, переполнен всевозможными лекарствами, а их изготовители широко рекламируют избавление буквально от всех болезней. Возникает естественный вопрос: а нужны ли вообще новые лекарства?

Для ответа обратимся к статистике главных причин смертности, опубликованной в США. Так называемая лекарственная смерть занимает пятое место в структуре смертности, уступая лишь летальным исходам в результате таких заболеваний, как болезни сердечно-сосудистой системы, рак, инсульт и легочные патологии. Лекарственная смерть регистрируется чаще, чем смерть в результате травм, диабета и др. Ежегодно в США около 100 тыс. пациентов умирают от побочного действия лекарств. Побочные эффекты увеличивают срок пребывания в стационаре в среднем на два дня и затраты на 2500 долл. в расчете на одного пациента. Таким образом, задача создания

новых, более эффективных и безопасных лекарств не только актуальна, но и одна из основных в медицине [4].

Безусловно, разработчики новых лекарств сегодня находятся в более выгодном положении, чем их коллеги еще каких-нибудь 10–15 лет назад, ведь теперь известен геном человека, равно как и геномы патогенных микроорганизмов, вызывающих болезни. Таким образом, путь к лекарству кардинально меняется: на смену интуитивному поиску, результат которого зависит от квалификации и удачливости ученого, приходит рациональное конструирование. Однако оказалось, что рационализация невозможна без привлечения современных компьютерных технологий – геномы представляют собой огромный объем данных, обработка которых просто немыслима без современных алгоритмов автоматизации. Следовательно, среди востребованных медициной постгеномных технологий на первое место выдвигаются вычислительные платформы “от геномов к лекарству”.

Перечислим этапы, которые разработчики лекарства обязательно реализуют в той или иной форме:

- сканирование геномов в поисках наиболее перспективных молекулярных мишеней для действия лекарств, причем молекулярной мишенью может быть как индивидуальный белок (например, фермент или рецептор), так и комплекс белковых молекул;
- получение информации о пространственной структуре отобранных макромолекул мишеней и их комплексов;
- поиск в базах данных лигандов, способных связываться с отобранными мишенями и путем связывания препятствовать реализации естественной функции макромолекулы, при этом высокие требования предъявляются как к алгоритмическим средствам моделирования взаимодействия между макромолекулой и лигандом, так и к мощностям вычислительных систем;
- экспериментальное тестирование биологической активности обнаруженных лигандов: необходимо убедиться, что найденные *in silico* лиганды действительно работают, как в системах *in vitro*, так и *in vivo*;
- оптимизация фармакодинамических и фармакокинетических характеристик базовых структур: если вещество планируется как лекарство, то следует оценить его возможную токсичность, канцерогенность, способность к всасыванию и многое другое.

Перспективным направлением конструирования лекарств является создание ингибиторов белок-белковых взаимодействий. В этой области российские исследователи могут успешно конкурировать с западными учеными [5]. Если стандартное лекарство, связывающееся с активным центром фермента, теряет свой лекарственный потенциал, как только фермент изменится (а в стремительно эволюционирующих микроорганизмах, особенно в вирусах, мутирование ферментов – вещь обыденная, отсюда и явление резистентности), то ингибитор образования белкового комплекса будет работать до тех пор, пока составные части комплекса не совершат сочетанную мутацию, что практически невероятно. В настоящее время в НИИ биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича РАМН интенсивно ведутся разработки ингибиторов димеризации протеазы вирусов гепатита С и иммунодефицита человека.

Протеомная диагностика ранних стадий онкологических заболеваний. Перейдем теперь от вопросов лечения к вопросам диагностики и

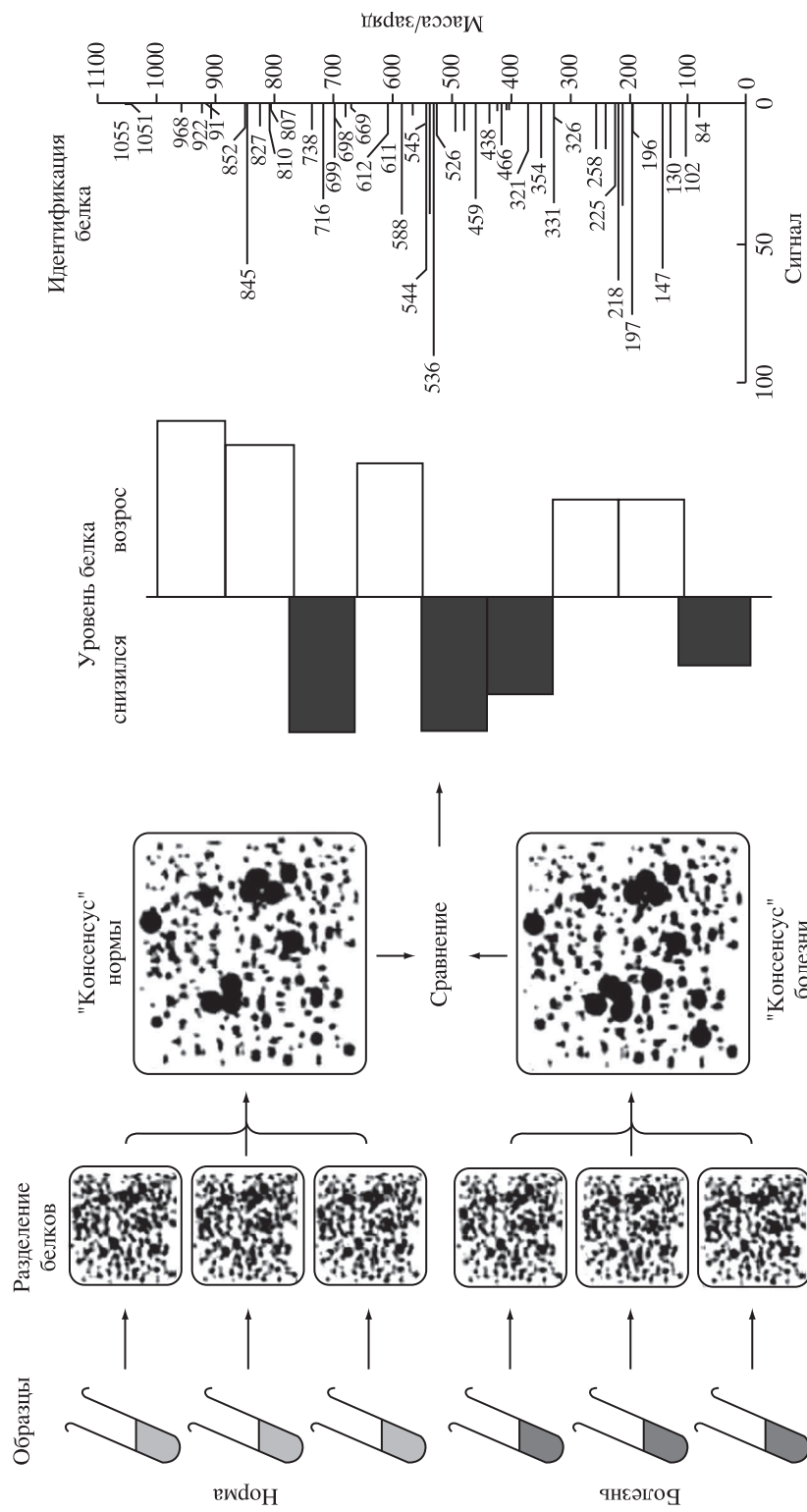


Рис. 3. Схема протеомного анализа

конкретно к диагностике “молчащих раков”. Молчащий рак не проявляет себя до тех пор, пока лечить его не станет поздно – опухоль широко метастазировала и ее удаление не решает проблемы [6]. Традиционные методики верификации рака подразумевают проведение биопсии, то есть забора микропорции ткани. Однако с точки зрения диагностики подход абсолютно неприемлем, поскольку трудно предположить человека, который в рамках плановой диспансеризации соглашается на манипуляции, по сложности и болезненности приближающиеся к хирургической операции. Значит, единственным наиболее доступным для диагностики биологическим образцом была и будет оставаться кровь. Но насколько периферическая кровь отражает незначительные по масштабам, затрагивающие лишь отдельные клетки патологические процессы, протекающие во внутренних органах? Ответ на вопрос дается в рамках новой научной дисциплины – протеомики.

В глобальном масштабе протеомика занимается инвентаризацией всех белков организма. Медицинский аспект проблемы несколько уже: установить корреляцию между набором белков и началом или развитием болезни. Задача сходна с геномикой, где определяется зависимость между болезнью и геномом, но на порядок сложнее. Дело в том, что белков намного больше, чем генов. Число последних оценивается в 30–40 тыс., однако каждый ген может считываться во множестве (до 200) альтернативных вариантов, а значит, белков может быть значительно больше – до 6–8 млн в одной клетке. Причем конкретный белок может быть экспрессирован как в виде единичных молекулярных копий, так и в огромном количестве – налицо широкий диапазон концентраций белков в клетке и биологических жидкостях. Можно возразить, что похожая ситуация складывается и при анализе ДНК, но в отличие от ДНК белки невозможно наработать в ходе полимеразной цепной реакции (ПЦР). А ведь именно ПЦР – основа всех методов работы с генетическим материалом, поскольку позволяет избирательно поднять концентрацию определенной молекулы ДНК до уровня, который может быть зарегистрирован приборами. Следовательно, методической основой протеомики должен быть подход, при котором чувствительность приборов позволяет регистрировать отдельные молекулы.

В 2001 г. на базе НИИ биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича создан протеомный отдел. В дальнейшем совместно с рядом научно-исследовательских и научно-производственных учреждений была разработана программа исследований. Ее осуществление взяла на себя специально созданная организация – Центр протеомных исследований. В 2003 г. этот центр был зарегистрирован в международной организации “Протеом человека”, которая является аналогом организации “Геном человека”, и если задачей последней была инвентаризация всех генов человека, то “Протеом человека” планирует конструирование протеомной карты всех белков человека.

Первоочередные задачи проекта “Протеом человека” – составление протеомных карт плазмы крови, печени и мозга, а также проведение антигенного картирования генома. Кроме того, специальный комитет в составе организации рассматривает новые технологические инициативы. Российский центр проекта принимает участие в разработке протеомной карты плазмы крови и печени, активно развивает новые подходы в области нанотехнологий.

Схема проведения протеомного анализа проста (рис. 3) и основана на достижениях современной масс-спектрометрии [7]. Образцы, например плазма крови, отбираются в группах условно здоровых людей и пациентов, страдающих неким заболеванием. Очевидно, что в плазме крови присутствует множество различных белков. Разделение белков проводится методом двумерного электрофореза, и на двумерной электрофореграмме каждый белок предстает в виде отдельного пятна. Его интенсивность соответствует уровню экспрессии белка, то есть его количеству. Анализ гелей внутри групп позволяет выявить индивидуальные вариации протеома, оценить статистические параметры для каждого пятна. Затем, сравнивая усредненные электрофореграммы между группами, удастся выявить различия, связанные с заболеванием. Различия заключаются в повышении или понижении экспрессии белка, некоторые белки появляются в плазме больных, тогда как другие могут исчезнуть. Однако на этапе анализа двумерных электрофореграмм речь на самом деле еще не идет о конкретных белках, а только об интенсивности пятен. Для того чтобы определить (идентифицировать) белок, пятно вырезают из геля, подвергают расщеплению, и массы фрагментов (пептидов) детектируют с помощью масс-спектрометрии. Профиль масс, соответствующий пептидным фрагментам белка, позволяет однозначно его идентифицировать, проведя поиск соответствия с теоретическими профилями, построенными по белкам человеческого генома.

Протеомный анализ сопряжен с проведением ряда трудоемких рутинных процедур, связанных с тем, что число анализируемых белковых пятен велико, а для статистической значимости результата требуется обработать большое количество образцов в соответствии со стандартным протоколом. Автоматизация протеомного анализа осуществляется благодаря использованию роботизированных конвейерных линий. В НИИ биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича действует линия “Протеинер” фирмы “Брукер Дальтонике”. Она включает в себя устройство для сканирования двумерных электрофореграмм, сопряженное с роботом, который вырезает отмеченные оператором пятна. Они переносятся в ячейки планшета, где происходит ферментативное расщепление белков на пептидные фрагменты. Затем содержимое каждой ячейки переносится на фиксированную позицию мишени, которая помещается в масс-спектрометр. За один цикл работы масс-спектрометр снимает спектры со всех позиций мишени. Снятые масс-спектры передаются в программу идентификации белков.

Приведем конкретный пример использования протеомных подходов для задач диагностики. Для анализа были отобраны пять групп людей: контрольная, куда вошли условно здоровые добровольцы, пациенты с доброкачественной опухолью, пациенты, страдающие раком молочной железы, пациенты с раком яичника и пациенты с раком матки. В каждой группе было по 10 человек, у каждого проводили забор крови, согласно стандартному протоколу. Сравнительный анализ двумерных электрофореграмм выявил 18 белковых пятен, совокупность которых позволяет статистически значимо различать наличие и природу онкопатологии. После масс-спектрометрической идентификации пятен результаты были сведены в таблицу.

**Дифференциальная диагностика онкологических заболеваний
с помощью протеомного подхода**

Белок-маркер	Рак яичника	Рак матки	Рак груди	Доброкачествен- ная опухоль
Гиптоглобин	+	=	++	=
Гранстиретин	–	=	=	=
Аполипопротеин А-I	–	–	–	=
Аполипопротеин А-IV	–	–	–	=
Аполипопротеин D	–	–	–	=
Zn альфа гликопротеин	–	+	–	–
Гликопротеин 2	–	–	–	–
Альфа-2 HS гликопротеин	+	=	+	–
Антитрипсин	+	+	+	–

Условные обозначения: “+” – повышение уровня экспрессии по сравнению с контролем (нормой), “–” – снижение, “=” – уровень экспрессии значимо не отличается от контроля.

Нанобиотехнология. Достижения геномики и протеомики напрямую связаны с развитием современных технологий. Особенно остро эта проблема стоит перед протеомной наукой, которая, как уже говорилось, столкнулась с необходимостью работать в широчайшем диапазоне регистрируемых концентраций: от милли- ($\sim 10^3$ М) до зептомолярных (10^{-18} М). Конечно, можно надеяться на то, что в белковой химии появится некий аналог метода ПЦР, который позволил бы мультиплицировать, наращивать обедненные фракции белков. К сожалению, разработка подобного метода сталкивается с очень большими трудностями. Альтернативой является существенное повышение чувствительности регистрирующей аппаратуры – до уровня подсчета отдельных молекул. Таким образом, из мира макроскопических явлений, обусловленных действием огромного количества молекул, мы переходим в наномир, где эффект напрямую связан с единичным молекулярным объектом.

Самое главное, что *уже существующие* технологии способны регистрировать отдельные молекулы. К арсеналу нанобиотехнологии относятся такие методы, как атомно-силовая микроскопия, криомассдетекторы, спектроскопия единичных молекул и т.д. Интересным представляется подход, в котором для детекции отдельных молекул используется стандартный привод персонального компьютера для чтения компакт-дисков, превращенных в биочипы. Перспективно также создание биочипов на основе атомно-силовой микроскопии.

* * *

Прочтение геномов ряда организмов, и прежде всего человека, ознаменовало начало эры постгеномных технологий. Существенное влияние они оказали на медицину, позволив систематически анализировать молекулярные механизмы зарождения и развития заболевания. Знание этих механизмов позволяет подойти к качественно новому пониманию вопросов, связанных с профилактикой, диагностикой и лечением заболеваний. Пожалуй, впервые за всю свою историю медицина получила шанс приблизиться к статусу точной

науки, миновав описательную практику анализа патологических процессов, бытовавшую в течение столетий.

Постгеномные технологии предоставляют широкий спектр возможностей, однако в ближайшем будущем, по нашему мнению, медицинские аспекты реализации будут сосредоточены в трех основных областях: анализ геномного полиморфизма – средство профилактики, протеомный анализ – средство диагностики и компьютерное конструирование лекарств – средство лечения. В области протеомного анализа успех будет зависеть от эффективного внедрения современных нано-технологий.

Постгеномная эра открывает широкие перспективы перед российскими учеными. В состав российского Центра протеомных исследований входит восемь научно-исследовательских институтов РАН, РАМН, Минздрава России, Минпромнауки России и МГУ. Центр располагает мощной аппаратной базой с квалифицированным техническим персоналом, а также развитой инфраструктурой размещения научных заказов, поступающих от различных исследовательских групп. До сих пор мощности протеомного центра загружены далеко не полностью, а значит, есть потенциал для дальнейшего развития.

Литература

1. Collins F.S., Green E.D., Guttmacher A.E., Guyer M.S. A vision for the future of genomics research // Nature. 2003. V. 244. P. 835–847.
2. Garrod A. The incidence of alcaptonuria: A study in chemical individuality // Lancet II. 1902. P. 1616–1620.
3. Chakravarti A., Little P. Nature, nurture and human disease // Nature. 2003. V. 421. P. 412–414.
4. Pirmohamed M., Kevin B. Genetic susceptibility to adverse drug reactions // Trends Pharm. Sci. 2001. V. 22. P. 298–305.
5. Archakov A.I., Govorun V.M., Dubanov A.V. et al. Protein-protein interactions as a target for drugs in proteomics // Proteomics. 2003. V. 3. P. 380–391.
6. Макаров О.В., Говорун В.М., Таранец И.М. и др. Ранняя протеомика рака яичника // Вопросы медицинской химии. 2003. Т. 49. С. 2–11.
7. Govorun V.M., Archakov A.I. Proteomic technologies in modern biomedical science // Biochemistry (Mosc). 2002. V. 67. P. 1109–1123.

ТЕРРОРИЗМ КАК ФАКТОР СТРЕССА

Академик РАМН Т.Б. Дмитриева

Терроризм стал истинным бичом современного общества. На наших глазах борьба с ним превратилась в основную задачу ведущих спецслужб мира. Представляется, что корни терроризма вечны и присущи самой природе человека, поскольку являются отражением темной стороны человеческой души. Проявления зависти и эгоизма, болезненного самолюбия и фанатизма невольно приобретают в нашем несовершенном обществе такую дьявольскую форму, как терроризм.

Как социально-политическое явление современный терроризм представляет собой систему применения противоправного насилия для до-

стижения политических целей. Нередко его воздействие на власть осуществляется опосредованно – через жертвы из числа случайных граждан. С точки зрения внутреннего (национального) законодательства, террористические акты относятся к категории тяжких и особо тяжких преступлений, направленных на подрыв государственной власти, причиняющих значительный материальный ущерб, влекущих иные общественно опасные последствия.

Научно-технический прогресс, интенсивная хозяйственная кооперация, формирование качественно новых межгосударственных объединений, как ни странно, способствуют увеличению угроз терроризма. И сегодня его потенциал таков, что позволяет решать задачи не только локального, тактического, но и геополитического, стратегического характера. Это, в частности, доказывают скоординированные и управляемые действия определенных политических кругов по дестабилизации обстановки на южных рубежах Содружества Независимых Государств. Более того, изменились и сами террористы. Если в конце 70-х–начале 80-х годов отряды воинов ислама (моджахеды) в той же Центральной Азии формировались для усиления Соединенными Штатами своего влияния в этом регионе, для противодействия распространению коммунизма, то теперь они превратились во вполне самостоятельную силу, имеющую претензии на собственные интересы, свои взгляды на роль и место ислама в эволюции цивилизации. А их интересы простираются гораздо дальше политических границ Афганистана. Оценка ситуации на Балканах, в Центральной Азии, на Северном Кавказе показывает, что в качестве инструментов достижения своих целей они рассматривают открытую вооруженную агрессию и террористическую деятельность. Идеино-пропагандистскую основу терроризма составляют наиболее экстремистские (фундаменталистские) идеи ислама, такие как ваххабизм. Сегодня налицо масштабное использование экстремистами информационно-пропагандистских технологий. Лидеры террористов ссылаются на факты проявления властями насилия в отношении мирных граждан. Используя средства массовой информации как инструмент рекламы своих действий, экстремисты объясняют мотивы террора и выдвигают условия его прекращения, требуя нередко не выкупа, а приглашения журналистов.

Порой освещение средствами массовой информации конкретных террористических акций несет в себе не менее опасный потенциал, чем сами террористы. Интересам обеспечения безопасности общества отвечает продуктивное взаимодействие средств массовой информации с властями, в том числе и с правоохранительными органами, в плане противодействия угрозе терроризма.

Как показывает практика, для осуществления террористических актов могут быть использованы различные средства и методы. Начиная с конца XIX в. и вплоть до настоящего времени для осуществления террористических актов преимущественно используются различные взрывчатые вещества. Следует отметить, что ранее террор, как правило, был направлен против отдельных лиц. Затем террористические акты начали использоваться против мирного населения. Целью таких террористических актов, помимо уничто-

жения населения, является дестабилизация общества. То есть произошло изменение идеологии терроризма.

Опыт сотрудников государственного научного центра социальной и судебной психиатрии им. В.П. Сербского, принимавших участие в ликвидации последствий практически всех террористических актов, совершенных на территории Российской Федерации, позволил дать общую характеристику терроризма, исследовать психолого-психиатрические и нейробиологические аспекты стресса и стрессовых расстройств и разработать алгоритмированную систему психолого-психиатрической помощи пострадавшим при терактах.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРОРИЗМА

Следует также отметить, что в течение последнего времени происходит расширение арсенала средств (веществ), которые используются для осуществления террористических актов. Если ранее террористами использовались лишь взрывчатые вещества, то начиная с 90-х годов для террористических целей начали пользоваться боевыми отравляющими веществами (использование зарина в токийском метро), а в течение последних двух-трех лет для террористов стало доступным и биологическое оружие. То есть происходит расширение средств, используемых при террористических актах.

Следует также отметить, что изменились и способы осуществления террористических актов. В качестве контейнеров, куда закладываются взрывчатые вещества, используются не только помещения, но и транспортные средства, чаще всего автомашины. Для осуществления террористических актов используются также воздушные суда. Кроме этого, в настоящее время практикуется проведение серийных террористических актов, в одно и то же время в различных населенных пунктах. Иными словами, происходит изменение (увеличение) способов осуществления террористических актов.

Следует также отметить, что для разработки террористических актов привлекаются высококлассные специалисты-профессионалы.

В течение последнего десятилетия в связи с тем, что эффективность использования статических контейнеров (оставленных без присмотра автомобилей и различных предметов) снижается (все-таки бдительность структур охраны общественного правопорядка и отдельных граждан возрастает), для осуществления террористических актов привлекаются смертники. То есть происходит рекультивирование феномена “камикадзе”.

Особо следует подчеркнуть, что лицами, планирующими террористические акты, для повышения качества подготовки смертников все активнее используется религиозная составляющая идеологии терроризма.

Особенностью текущего момента является то, что к исполнению террористических актов привлекаются женщины, в том числе женщины-“камикадзе”.

Помимо того, что при теракте получают ранения и погибают люди, для значительного количества населения сам по себе теракт может стать стрессором. Станет ли теракт стрессором, зависит и от таких факторов, как внезапность или ожидаемость события.

ПСИХОЛОГО-ПСИХИАТРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРЕССОВЫХ РАССТРОЙСТВ

Следует отметить, что при внезапно возникшей угрозе теракта в части случаев может развиваться острая реакция на стресс (ОРС). Последняя может проявляться в двух видах. Чаще это острое психомоторное возбуждение. Внешне оно проявляется лишними, быстрыми, порой нецеленаправленными движениями. Мимика и жесты становятся чрезмерно живыми, темп речи ускоряется, часто повторяются одни и те же фразы, иногда речь носит характер монолога. Суждения поверхностны, а иногда лишены смысловой нагрузки. Эти люди не способны концентрировать внимание на том, что им сообщают, с трудом воспринимают объяснения. Для них тяжело находиться в одном положении, они то лежат, то встают, то бесцельно передвигаются с места на место. Часто имеет место гиперемия лица, чрезмерная потливость, иногда появляются чувства жажды и голода.

Второй разновидностью ОРС являются состояния, которые сопровождаются внешней обездвиженностью (оцепенение). Человек становится как бы посторонним наблюдателем, и события чрезвычайной ситуации (ЧС) проносятся в его сознании, как кадры из фильма. В наиболее выраженных случаях развивается так называемый психогенный ступор: человек лежит с закрытыми глазами, не реагирует на окружающее. Все реакции организма замедлены, зрачок вяло реагирует на свет. Дыхание урежается, становится бесшумным, неглубоким. Организм как бы старается максимально оградить себя от реальной действительности. Обычно эти лица сидят подолгу в одной и той же позе, не ищут помощи, ничем не интересуются, у них притуплено чувство жажды и голода, внешне производят впечатление опустошенных, эмоционально выхолащенных людей.

Следует отметить, что во время острой реакции на стресс поведение в первую очередь определяется основным инстинктом – инстинктом самосохранения. ОРС обычно развивается стремительно в течение одной-двух минут после возникновения угрожающей жизни ситуации и может длиться несколько дней.

У части лиц после теракта через некоторое время (от 3–5 дней до 6 месяцев, а иногда и через 20 лет) может развиваться так называемое посттравматическое стрессовое расстройство (ПТСР).

В настоящее время полагают, что иногда ПТСР возникает после острой реакции на стресс, может развиваться и у лиц, которые после воздействия стрессора не обнаруживали никаких психических расстройств (в этих случаях ПТСР рассматривается как отставленная реакция на происшедшее событие). Несколько реже ПТСР возникает у лиц (ранее перенесших стресс) вслед за повторной незначительной психической травмой.

Посттравматическое стрессовое расстройство характеризуется постоянным пониженным настроением, которое иногда субъективно воспринимается как вялость, апатия, эмоциональное безразличие. Одновременно с этим пропадает интерес к окружающей действительности, исчезает желание получать удовольствие (ангедония) и стремление к узнаванию нового, неизвестного. Лица, страдающие ПТСР, избегают больших компаний, предпо-

читают одиночество, исключение составляют лишь лица, перенесшие тот же стресс, что и сам больной.

Характерными для ПТСР являются навязчивые воспоминания о стрессовой ситуации. В большинстве случаев упомянутые навязчивые воспоминания неприятны для индивида. Однако некоторые лица сами (усилием воли) вызывают воспоминания о стрессовой ситуации, что, по их мнению, помогает “переварить” стресс, и события, связанные с ним, становятся менее страшными, более обыденными. При этом практически всегда имеют место нарушения сна (затруднение засыпания, частые ночные просыпания, ранние просыпания в тревоге), нередко ночные кошмары, проигрывающие ситуацию психотравмы.

Одновременно у личности как бы обостряется инстинкт самосохранения, и ее поведение начинает меняться. Основу изменений составляют поведенческие акты, направленные на раннее распознавание угрозы повторения теракта.

Следует отметить, что указанное изменение состояния у всех лиц, переживших воздействие стресса, проявляется в первую очередь в повышении уровня бодрствования (повышенная бдительность). Вместе с тем меры предосторожности, которые принимаются личностью, определяются характером перенесенного стресса.

У лиц, которые подверглись воздействию стресса, нередко развивается так называемая приобретенная беспомощность. В данном случае мысли пострадавших постоянно заняты тревожным ожиданием повторения стрессовой ситуации, переживаний, связанных с тем временем, и чувством беспомощности, которое они испытали. Чувство беспомощности обычно затрудняет модуляцию глубины личностного вовлечения в контакт с окружающими. Различные звуки, запахи или ситуации могут легко стимулировать воспоминание событий, связанных с терактом.

Одним из важных проявлений ПТСР является затруднение концентрации внимания, трудность запоминания и воспроизведения, легкая утомляемость, снижение работоспособности. Личность, пережившая стресс, редко обращает внимание на указанные расстройства и, как правило, не высказывает соответствующих жалоб, однако именно эти расстройства приводят к снижению общего уровня функционирования личности.

НЕЙРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРЕССА

Хорошо известно, что организм человека стремится получить и поддерживать наиболее оптимальные условия своей жизни. Когда условия окружающей среды не оптимальны, индивидуумы приспосабливаются к существующим обстоятельствам. Адаптивный, или гомеостатический, ответ направлен на защиту внутренней среды от изменений, которые подвергают опасности выживание организма. Адаптивный ответ на чрезвычайную ситуацию пропорционален интенсивности стимула и лежит в диапазоне от простой ограниченной реакции до генерализованного системного состояния, которое воздействует на весь организм.

Когда организму предъявляются чрезмерные требования или угрозы, адаптивный ответ приобретает стереотипный неспецифический характер – состояние, известное как “стресс”. Стресс определяется как состояние, в котором мозг интерпретирует количество стимулов как чрезмерное или их качество как угрожающее и отвечает на них генерализованным способом. Биологические, физические или психологические стрессоры ускоряют подобный ответ, названный Г. Селье “общим адаптационным синдромом”. Во время стресса функциональное состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем изменено. Кровоток переадресован, чтобы обеспечить самую высокую перфузию к мозгу и мышечной системе. Мозг сфокусирован на восприятии угрозы и противодействие ей. Кроме того, эндокринные программы удовольствия, роста и воспроизводства отключаются (shut down) для экономии энергии. Катаболизм увеличивается, и энергия используется главным образом, чтобы снабдить мозг, сердце и мышцы.

Метаболические изменения в процессе стресса включают секрецию адреналина и норадреналина мозговым веществом надпочечников и симпатическими нервными окончаниями соответственно.

Гипоталамо-гипофизо-надпочечная ось и симпатoadреналовая система служат периферийными ветвями, через которые мозг воздействует на каждую клетку организма.

Мозговой цикл инициирует и поддерживает ответ на стресс. Он включает управление центрами вышеупомянутых периферийных исполнительных элементов. Гипоталамус управляет секрецией проопиомеланокортинов, которые включают адренотропный гормон (АСТН) и Я-эндорфины. АСТН стимулирует секрецию гормонов коркового вещества надпочечников – глюкокортикоидов, главным образом кортизола у людей и кортикостерона у крыс. Последний играет разрешающую роль в секреции адреналина мозговым веществом надпочечников. Кроме того, бета-эндорфины могут стимулировать мозговое вещество надпочечников к увеличению секреции адреналина. Система “Locus caeruleus-норадреналин” управляет индуцированным стрессом возбуждением симпатoadреналовой системы. Barrington nucleus, nucleus tractus solitarius и дорсальные двигательные нейроны блуждающего нерва управляют дифференциальной активацией вагального и сакрального парасимпатического эфферента, которые обуславливают ответ кишечника на стресс. Миндалевидное тело, действуя совместно с гиппокампом, anterior cingulate and prefrontal cortices, являются медиаторами сосредоточенной реакции на воспринятую угрозу, аффективной негибкости и поведения, связанного с опасностью.

Нейроанатомический стресс традиционно связывают с нарушением состояния лимбической системы мозга. При этом Г.Н. Крыжановский и соавторы характеризуют ее состояние повышенной готовностью к гиперактивности типа эпилептиформных пароксизмов. Нарушение функций этой системы приводит к расстройству комплексного контроля функций иммунной системы, которая ведет к развитию заболеваний, которые нередко называют болезнями регуляции иммунитета. Кроме того, существует гипотеза, определяющая нарушение взаимодействия структур, формирующих лимбическую систему, как один из основных патогенетических феноменов развития неврологических расстройств.

Нет сомнений в том, что нарушение функций гипоталамуса напрямую связано с патогенезом болезней регуляции иммунитета. Показано, что искусственная стимуляция эмоциогенных зон гипоталамуса может вызвать состояние эмоционального стресса параллельно с нарушением функций иммунной системы организма по типу ее недостаточности.

Хорошо известно, что цитокины – медиаторы нейроиммунного взаимодействия – широко распространены в нервной ткани и обеспечивают контроль центральной нервной системы за модулированными механизмами иммунного ответа. В последние годы продемонстрировано, что эмоциональный стресс наряду с гиперфункцией гипоталамо-гипофизарной системы характеризуется увеличением уровня IL-1b, IL-6, IL-8 и g-INF в периферической крови. В то же время гиперпродукция цитокинов, в свою очередь, способна стимулировать стресс-подобный поведенческий комплекс и соответствующие изменения катехоламиновых и серотониновых медиаторных систем.

Несколько лет назад российские и зарубежные авторы продемонстрировали эффекты увеличения количества лимфоцитов с фенотипами CD2, CD3, CD8, CD19 и CD26, а также концентрации цитокинов IL-6, IL-8, IL-10, IL-1R, b-TNF и m-INF в периферической крови пациентов, испытавших острый стресс. Таким образом, постулируется феномен стресс-индуцированного изменения уровня цитокинов в периферической крови, являющийся звеном патогенеза острого стресса. Существует точка зрения, что изменение уровня цитокинов в тканях и периферической крови – это своеобразный механизм гомеостатического ответа организма на эмоциональный стресс.

Как это часто бывает на начальных этапах развития научного поиска, механизм взаимодействия между стрессом и функционированием иммунной системы более понятен в общих чертах, нежели в частностях. Так, например, ясно, что стресс в общем воздействует на иммунную систему, в меньшей степени понятны детали воздействия. Есть основания предполагать, что хронический стресс в значительной степени ухудшает здоровье населения. Однако выяснено не в полной мере, является ли это результатом стресс-индуцированной дисфункции иммунной системы, проявляющейся в иммуносупрессии, иммуноактивации или же в комбинации процессов. Основопологающей находкой исследователей, определяющей взаимоотношения стресса и функций иммунной системы, является открытие феномена супрессии лимфоцитов и НКСА. Такой феномен был продемонстрирован как в серии исследований экспериментального стресса на лабораторных животных, так и при исследовании пациентов, находящихся в условиях острого и хронического стресса. Относительно здоровые соматически люди, пребывая в состоянии хронического стресса, имели выраженные изменения параметров иммунного статуса по типу иммуносупрессии лимфоцитарной и НКСА пролиферации. Кроме описанного выше влияния стресса на митоген-индуцированную пролиферацию лимфоцитов и НКСА, хронический стресс практически всегда вызывал снижение митоген-стимулированной продукции m-INF и снижение экспрессии.

Нельзя не отметить, что в противоположность хорошо известным феноменам снижения интенсивности митоген-индуцированной пролиферации лимфоцитов и уменьшения числа НК-клеток у пациентов с хроническим стрессом, как острый лабораторный стресс у животных, так и острые стрес-

совые состояния у людей сопровождались быстрым увеличением числа NK-клеток в периферической крови. Это увеличение имело транзиторную тенденцию резко выравниваться или даже падать ниже нормы в том случае, если стрессорные факторы устранялись.

Интересно, что даже острые стрессовые состояния у животных и у людей по-разному могут воздействовать на те или иные функции иммунной системы. Известно, например, что острый стресс характеризуется повышением уровня воспалительных цитокинов (причем как в ликворе, так и в сыворотке крови) и острофазовых белков, синтезирующихся в печени (гаптоглобин, альфа-1 антитрипсин, С-реактивный белок и т.д.), с одной стороны, и одновременно понижением уровня белков переносчиков, таких как альбумин и трансферрин, – с другой.

Исследование спектра цитокинов у лиц, испытывавших острый и хронический стресс в результате захвата в 1995 г. заложников в г. Кандагар (Афганистан), проведенное сотрудниками ГНЦ ССП им. В.П. Сербского, показало, что острый стресс достоверно приводил к увеличению уровня IL-6 в сыворотке крови и гиперпродукции IL-6 mRNA в супернатанте культур периферических мононуклеаров. Иммунохимический анализ цитокинов в сыворотке крови пациентов с острым стрессом выявил повышение уровня IL-1b, IL-6, b-TNF и INF- μ .

Подводя итог, следует подчеркнуть, что накопленные в результате экспериментальных и клинических исследований данные позволяют сделать вывод о том, что стресс, активируя систему гипоталамо-гипофизарного аксиса (НРА), способен вызвать нейромодуляцию цитокиновой системы млекопитающих, что подчеркивает общность молекулярно-биологических процессов в нервной и иммунной системах.

Есть основания рассмотреть механизм взаимодействия нервной и иммунной систем в патогенезе стрессовых расстройств. Клинические и экспериментальные исследования предполагают, что иммунная система может активировать НРА-систему и тем самым обеспечить быструю передачу информации между нервной, иммунной и эндокринной системами.

Стрессорная реакция нейронов коры головного мозга передается на астроциты и микроглиальные клетки нервной ткани, которые в свою очередь в ответ на эту реакцию способны секретировать иммуномедиаторные молекулы ряда провоспалительных цитокинов – IL-1b, IL-6, IL-8, b-TNF и INF- μ . Эти цитокины способны активировать систему НРА и симпатическую нервную систему, запуская синдром центрального компенсаторного антистрессового ответа.

“Мозговые” цитокины могут также проникать в системный кровоток, вызывая развитие так называемого синдрома системного антистрессового ответа. Как следствие развития двух вышеупомянутых синдромов происходит запуск специфических иммунодепрессивных механизмов, с одной стороны, и систем противовоспалительных цитокинов (IL-10, b-TNF, IL-1RA), выполняющих компенсаторные функции, – с другой.

Хотя большое количество данных демонстрирует взаимодействие между стрессом, депрессией и иммунной системой, эти данные остаются в противоречии с некоторыми аспектами механизма активации и супрессии иммунной системы. Возникают и некоторые трудности для исследования интере-

сующей нас проблемы. Во-первых, крайне важно определиться, играет ли иммунная система первичную этиологическую роль в развитии большой депрессии, или следует полагать, что расстройства ее функций являются лишь только звеном патогенеза определенных подтипов депрессий, таких, например, как меланхолия или же депрессия, ассоциированная с соматическими заболеваниями. Во-вторых, специфичность расстройств функций иммунной системы, обнаруженных при большой депрессии, весьма относительна, так как в определенной степени подобные нарушения могут обнаруживаться также при других психических и нейропсихических заболеваниях, включая шизофрению и болезнь Альцгеймера.

Завершая анализ большого числа исследований, касающихся функционирования иммунной системы при стрессе, следует обратить внимание на строго определенный характер нарушения ее параметров по типу супрессии. Однако нет достаточных оснований считать эти нарушения стресс-специфическими, равно как и определять для них основное место в этиологии стресса и развитии патопсихологической симптоматики. В то же время нельзя не уделять должного внимания исследованию перспектив лечения хронических стрессовых расстройств, которые могут быть достигнуты при применении иммунокорректирующих методов терапии.

ПСИХОЛОГО-ПСИХИАТРИЧЕСКАЯ ПОМОЩЬ ПРИ ТЕРАКТАХ

Оказание психолого-психиатрической помощи при теракте в первую очередь предполагает проведение подготовительных мероприятий, которые в итоге должны свести к минимуму число жертв и материальный ущерб от воздействия стрессора. Необходимые мероприятия, выработанные в результате восьмилетней работы сотрудников ГНЦ ССП им. В.П. Сербского, следует проводить на федеральном, региональном и локальном уровнях.

Мероприятия федерального уровня.

1. Разработка и совершенствование концепции оказания психолого-психиатрической помощи при терактах.

2. Прогнозирование терактов.

3. Формирование постоянных групп психолого-психиатрической помощи, которые в составе подразделений немедленного реагирования непосредственно участвуют в оказании помощи при терактах.

4. Изучение общих закономерностей течения психических расстройств, связанных с терактами, разработка новых методов их экспресс-диагностики и терапии.

5. Разработка критериев экспертной оценки психических расстройств, возникающих во время и после теракта.

6. Организация курсов повышения квалификации врачей-психиатров, ответственных за оказание психолого-психиатрической помощи на местах, и издание научной и учебно-методической литературы по психиатрии, посвященной вопросам организации оказания помощи при терактах.

7. Подготовка и проведение учений, имитирующих проведение терактов.

Мероприятия регионального уровня.

1. Составление плана оказания помощи при терактах, проведение которых наиболее вероятно в данном регионе.

2. Организация общественной группы (штаба) психолого-психиатрической помощи.

3. Организация циклов повышения квалификации врачей-психиатров, ответственных за оказание психолого-психиатрической помощи.

4. Организация учений и участие в них.

5. Регулярное участие в проверке готовности соответствующих учреждений и служб к оказанию помощи при терактах.

Таким образом, мероприятия, которые необходимо проводить на региональном уровне, в определенной степени дублируют действия, принимаемые во всероссийском масштабе.

В эпицентре теракта могут быть развернуты следующие модули психолого-психиатрической службы:

- отделение анонимной психолого-психиатрической помощи по телефону;
- консультативная выездная бригада психолого-психиатрической помощи;
- отделение психологической и психиатрической помощи;
- кабинет психологической и психиатрической помощи.

Совершенно одинаковых террористических актов не бывает, и следовательно, характер необходимой помощи и ее объем в эпицентре варьируют. Иными словами, какие модули психологической и психиатрической службы могут и должны быть задействованы, в каждом случае должны определить индивидуально.

Система оказания психолого-психиатрической службы в эпицентре теракта (модули психолого-психиатрической службы) позволяет проводить профилактические мероприятия, направленные на уменьшение вероятности возникновения последствий террористических актов. Она дает возможность оказывать пострадавшим сразу же после развертывания чрезвычайной ситуации дифференцированную психиатрическую и психологическую помощь, а также проводить реабилитационные мероприятия в более отдаленный период.

ПРОБЛЕМЫ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ И ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ

Президент РАСХН Г.А. Романенко

Обеспечение населения продовольствием и здоровое питание – важнейшая и актуальная задача государственного значения. Без ее решения невозможна социальная стабильность общества и здоровье населения. Многое зависит от создания устойчивой базы для производства сельскохозяйственной продукции, от наличия современной пищевой индустрии и доступности продуктов питания для всех слоев населения Российской Федерации.

К сожалению, реформирование аграрного сектора экономики, проводившееся без учета мнения ученых, обусловило значительное сокращение производства основных видов сельскохозяйственной продукции (табл. 1).

Таблица 1
Производство сельскохозяйственной продукции в России (млн т)

Наименование продуктов	1990 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.
Зерновые и зернобобовые культуры	116.7	65.5	85.2	86.6
Сахарная свекла	32.3	14.1	14.6	15.7
Подсолнечник	3.4	3.9	2.7	3.7
Картофель	30.8	34.0	35.0	32.9
Скот и птица (живая масса)	15.6	7.0	7.0	7.3
Молоко	55.7	32.3	32.9	33.5

Таблица 2
Объемы импорта основных продуктов питания (тыс. т)

Наименование продуктов	1990 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.
Мясо свежее и мороженое	1350	730	517	1152
Мясо птицы свежее и мороженое	194	826	694	1382
Молоко	3127	860	78	59
Масло сливочное и прочие молочные жиры	209	241	71	140
Масло подсолнечное	116	283	149	176
Сахар-сырец	—	—	4547	4453
Сахар белый	2460	1256	467	476.5
Продукты содержащие какао	89	56	89	151

Таблица 3
Потребление отдельных видов продуктов питания в России (кг на душу населения)

Наименование продуктов	Рациональная норма	1990 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.
Хлеб и хлебобулочные изделия	110	119	118	120	118
Мясо и мясопродукты	81	75	45	47	49
Молоко и молокопродукты	392	386	216	221	228
Сахар и кондитерские изделия	41	47	35	36	36
Масло растительное	16	10.2	9.6	10.5	10.8
Картофель	118	106	118	122	118

Исключением являются подсолнечник, производство которого не уменьшилось благодаря высоким мировым ценам на эту культуру, и картофель, сохранивший свои позиции исключительно за счет личного подворья.

Сокращение объемов производства отечественной сельскохозяйственной продукции способствовало увеличению импорта отдельных продуктов питания (табл. 2).

Низкая покупательная способность значительной части населения привела к тому, что за последние годы значительно уменьшилось потребление отдельных видов продуктов питания на душу населения (табл. 3).

Проблема создания высококачественных продуктов питания решается учеными РАСХН в соответствии с “Концепцией государственной политики в области здорового питания населения страны”, прежде всего за счет современных методов биотехнологии, создания новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, пород и породных групп животных, кроссов птицы, освоения новых технологий, обеспечивающих научное сопровождение получения высококачественного сельхозсырья и биологически полноценных продуктов питания.

Территория нашей страны характеризуется значительным разнообразием почвенно-климатических и погодных условий, а производство сельскохозяйственной продукции существенно усложняется недостатком тепла и влаги. Продолжительность вегетационного периода колеблется от 50 до 190 дней, по сумме активных температур колебания также весьма существенны – от 1400°С до 3600°С. Даже в пределах одной агрозоны можно встретить значительное разнообразие почвенного покрова. Имеются различия по генезису, содержанию гумуса, биологической активности, наличию важнейших элементов питания и т.д.

Кроме того, ежегодно заводы и фабрики, транспортные средства и отопительные системы выбрасывают на нашу бедную землю около 1 млн т меди, цинка, свинца, других металлов. Выпадающие кислотные дожди губят многолетние насаждения, уничтожают урожай овощных плантаций. Сегодня нам надо лечить не только людей, но и нашу землю.

Все это требует особого подхода к подбору сельскохозяйственных культур и сортов, разработки сортовой агротехники с учетом конкретных почвенно-климатических условий. При производстве продуктов питания приходится учитывать экологическую обстановку, традиции многонационального состава России, а в последнее время и религиозные убеждения.

По нашей территории проходит биологическая граница возможного произрастания основных культивируемых видов растений. Россия обладает богатейшими в мире генетическими ресурсами культурных растений и их диких сородичей. Только во ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова сохраняется и поддерживается в живом виде более 320 тыс. образцов растений, относящихся к 155 ботаническим семействам, 304 родам, 2539 видам. Это подлинное национальное достояние страны, стоимость которого невозможно оценить в денежном эквиваленте.

Ученые-селекционеры, широко используя генетический материал коллекции ВИРа, создали тысячи новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, которые значительно превосходят стандарты по урожаю, качеству продукции, устойчивости к абиотическим стрессам, опасным патогенам.

Знаменитая Безостая-1 стала родоначальником практически всех интенсивных сортов озимой пшеницы. Ныне районированные сорта позволили в экстремальных условиях закончившегося сельскохозяйственного года собрать приличный урожай продовольственного зерна, в то время как на Украине, в Молдавии, в некоторых странах Европы озимые погибли или в значительной степени пострадали от морозов.

В 2002 г., по данным Международного испытания сортов озимой пшеницы в Канаде, Московская-39 признана лучшим сортом, сочетающим высокую урожайность с высоким качеством зерна. Этот сорт возделывается в

Нечерноземье на площади более 1 млн га, его урожайность нередко составляла 5–6 т с 1 га. Благодаря этому сорту создан новый регион производства продовольственного высококачественного зерна в центре России, где проживает более половины населения страны.

Некоторые из новых сортов не имеют аналогов в мире. Яровая твердая пшеница Саратовская золотистая и Валентина (НИИСХ Юго-Востока) по содержанию в зерне каротиноидных пигментов значительно превосходят зарубежные сорта и широко используются для производства высококачественных макаронных и кондитерских изделий, круп для детского питания, хлеба для больных, страдающих непереносимостью белков мягкой пшеницы.

Хотелось бы задержать внимание на проблемах озимой ржи, которая является национальной культурой России, обеспечивающей в течение ряда столетий полноценное питание россиян. Зерно ржи наиболее полным образом отвечает природно-климатическому потенциалу основных зон страны, включая Европейский Север, Северо-Запад, Поволжье, Центральный район Нечерноземья, Центральный черноземный район, Урал, Западную и Восточную Сибирь.

В свое время озимая рожь на полях России занимала 27 млн га, сейчас – всего 3.4 млн га. Необходимо подчеркнуть, что для здорового питания населения страны крайне необходимо иметь в рационе питания ржано-пшеничный хлеб. Кроме того, переработка ржи позволяет получать крахмал, солод, спирт, глюкозно-фруктозные сиропы (заменитель сахара). Учитывая важность этой культуры, Президиум Россельхозакадемии утвердил межотраслевую программу “Озимая рожь”, в которой намечены меры по увеличению производства и улучшению качества ржи, прежде всего за счет селекции, семеноводства и освоения новых технологий (табл. 4).

Ценным диетическим продуктом является рис, что обусловлено его способностью осаждать на своей поверхности токсины и выводить их из организма. По содержанию крахмала, минеральных веществ и витаминов рис не уступает многим видам крупяных изделий, а по некоторым показателям превышает их. По ассортименту отечественных сортов риса все потребности населения, в том числе самые изысканные и диетические, могут быть удовлетворены уже сегодня.

Специалистами ВНИИ риса разработан и научно обоснован комплекс рисовых систем, включающий севообороты и обработку почвы, удобрения, специализированные машины, мелиоративные, защитные и природоохранные мероприятия. Их применение обеспечивает получение в Краснодарском крае до 500, а в целом по РФ – более 650 тыс. т риса высокого качества с сохранением благоприятной экологической обстановки в зонах рисосеяния.

Гораздо сложнее обстановка в нашей стране с созданием и внедрением в производство отечественных гибридов кукурузы, подсолнечника, сахарной свеклы, некоторых овощных культур, цветов. Хотя и здесь имеются великолепные результаты (табл. 5).

Селекционерами ВНИИ масличных культур выведены сорта подсолнечника, дающие масло, идентичное по составу оливковому.

Овощи способны удовлетворять потребность человека в белковых веществах на 15–25%, в углеводах – на 50–60%, в витаминах и минеральных солях – на 60–70%. Высока роль овощей как богатейшего источника

Таблица 4

Сорта и гибриды, допущенные к использованию в России в 2003 г.

№	Сельскохозяйственная культура	Всего сортов	Из них отечественных сортов	В том числе РАСХН
1	Пшеница	325	314	309
2	Рожь озимая	50	50	50
3	Овес	78	77	75
4	Ячмень	136	129	123
5	Гречиха	43	42	40
6	Рис	30	30	28
7	Просо посевное	47	47	47

Таблица 5

Сорта и гибриды, допущенные к использованию в России в 2003 г.

№	Сельскохозяйственная культура	Всего сортов	Из них отечественных сортов	В том числе РАСХН
1	Кукуруза	345	145	120
2	Подсолнечник	245	134	72
3	Сахарная свекла	117	37	26
4	Картофель	193	111	91
5	Овощные и бахчевые	2019	1608	820
6	Плодовые и ягодные культуры	1298	1250	976
7	Цветочно-декоративные	923	790	304

природных ферментов, бета-каротина, альфа-токоферола, бетанина, флавоноидов, отсутствующих в других растительных продуктах. Среди последних достижений отечественной селекции овощных культур следует прежде всего отметить высококаротиновые сорта и гибриды столовой моркови: Лосино-островская-13, НИИОХ-336, Витаминная и другие, содержащие 20-25 мг% и выше каротина и 6–7% сахара, имеющие прекрасную лежкость в зимний период (94–97%).

Отечественные сорта и гибриды белокачанной капусты Надежда, Подарок-2500 и другие имеют, наряду с высокой лежкостью, лучшие, по сравнению с голландскими гибридами, вкусовые и засолочные свойства. Селекция плодовых ведется на улучшение пищевых, защитных и лечебных качеств, повышенное содержание витаминов С, Р, каротина (провитамина А), которые являются антиоксидантами, а также пектина.

Разработаны технологии получения пектина и пектинопродуктов с высокими радиопротекторными свойствами. Инновационный проект “Создание уникального производственного комплекса по выпуску пектиновых веществ и пектиносодержащих продуктов” был включен в состав российской экспозиции инновационных проектов на 50-м Всемирном салоне инноваций, научных разработок и новых технологий “Брюссель-2001”, где получил золотую медаль и диплом I степени.

Плоды нетрадиционных садовых и ягодных культур – брусники, облепихи, рябины, калины, жимолости – с улучшенными вкусовыми качества-

ми являются ценным источником витаминов при потреблении их в свежем виде, а также в виде обогащенных биологически активными веществами (БАВ) продуктов переработки, пищевых добавок, лечебных средств.

Большая работа по сохранению и расширению генофонда лекарственных, ароматических и фитонцидных растений проводится учеными ВНИИ лекарственных растений. С целью оздоровления среды обитания человека ВИЛАР предлагает комплексное использование многих полезных лекарственных и ароматических растений, улучшающих экологию городов и помещений. Учеными и специалистами этого института создано около 100 лечебных препаратов. Впервые в стране начато промышленное производство высокоэффективных препаратов из расторопши пятнистой для профилактики и лечения заболеваний печени и желчевыводящих путей (силимар, сибектан и др.), превосходящих по своим медико-биологическим свойствам известные зарубежные аналоги (легаон, карсил, силибор и др.). В Ставропольском НИИСХ создан и сохраняется генофонд более чем 100 видов лекарственных и пряноароматических растений, и уже сейчас для выращивания в условиях Северного Кавказа рекомендовано более 30 видов.

Выращивание полноценного, экологически безопасного урожая сельскохозяйственных культур практически невозможно без проведения комплекса мер борьбы с вредителями, болезнями и сорняками, многие из которых резко снижают не только количественные, но и качественные показатели растительной продукции вплоть до непригодности ее для пищевых и технических целей. Так, в период массового размножения вредной черепашки в стране повреждается более 5 млн т зерна, снижается качество белка и клейковины, ухудшаются хлебопекарные качества.

Серьезные отравления людей и домашних животных могут вызывать микотоксины, вырабатываемые грибами рода фузариум. Они накапливаются в вегетирующих растениях, созреваемом зерне на току, во влажных хранилищах, влажной муке и не разрушаются при кипячении и технической переработке зернопродукции.

Особую тревогу вызывает состояние зернофуража в связи с устойчивой тенденцией роста числа случаев выявления неблагополучных партий из-за весьма продолжительных сроков уборки.

В последние годы разработан ускоренный экспресс-метод определения микотоксинов, продуцируемых фузариями на основе твердофазного иммуноферментного анализа, позволяющий дать ответ в течение 3–3.5 часов (ранее подобная диагностика проводилась за 10 дней). Метод получил высокую оценку центров стандартизации и метрологии, а также производственных лабораторий. В 2000–2003 гг. по госзаказу институтом наработано и реализовано для производственных лабораторий 62 регионов страны более 400 наборов тест-систем для определения микотоксинов в зернофураже и продуктах питания.

Учеными разработана и реализуется концепция по фитосанитарной оптимизации растениеводства на основе интегрированной защиты растений. В тепличных хозяйствах, в зонах производства продукции для детского и диетического питания, в зонах с высоким техногенным загрязнением предусматривается защита растений без пестицидов или с минимальным их использованием.

Много проблем в стране и по производству животноводческой продукции и сырья высокого качества. Во второй половине XX в. на базе скрещивания местных пород с лучшими породами мирового генетического фонда было выведено более 100 отечественных пород сельскохозяйственных животных, сочетающих высокий генетический потенциал продуктивности, хорошее качество продукции с приспособленностью к местным, часто экстремальным, условиям внешней среды.

Совместно с практическими работниками племенных хозяйств учеными академии в последние годы завершены работы по выведению и апробации шести новых высокопродуктивных пород свиней, овец, коз и четырех кроссов мясных и яичных кур. По биологическим свойствам, продуктивности и качеству продукции эти селекционные достижения находятся на уровне лучших мировых аналогов.

Генетический потенциал нового внутрипородного Ленинградского типа чернопестрого скота превышает 10 тыс. кг молока в год. Животные приспособлены к эксплуатации в условиях промышленной технологии, отличаются крепкой конституцией, адаптацией к местным климатическим условиям, способностью интенсивно усваивать корм. Приведем показатели по птицеводству (табл. 6).

Новые отечественные кроссы яичной птицы дают по 310–320 яиц в год, не уступают курам зарубежной селекции, а по жизнеспособности превосходят их. Среднесуточный привес бройлерного кросса “Смена-4” составляет 57 г, а на экспериментальной группе привесы достигли 72 г.

Для ликвидации существующего дефицита микроэлементов и витаминов в продуктах питания животного происхождения проводятся исследования по сбалансированию кормов по этим элементам питания, установлению взаимосвязи между уровнем содержания микроэлементов в кормах и продуктах животноводства.

Обеспечение эффективной защиты сельскохозяйственных животных и птицы от болезней было и остается одной из главных задач ветеринарной науки и практики. Только от здоровых животных можно получить высококачественную продукцию.

Во многих странах Европы и Азии широко распространены бешенство, сибирская язва, ящур, губкообразная энцефалопатия (бешенство коров), африканская чума свиней (табл. 7).

По данным Международного эпизоотического бюро, в 2001 г. только в Англии из-за вспышки ящура было уничтожено 4 млн голов животных. Экономический ущерб составил 31 млрд долл. Ликвидация очага ящура

Таблица 6

Птицеводство России

Показатели по птицеводству	1990 г.	2002 г.
Производство яиц, млрд шт.	47	37
Производство мяса, млн т	1.7	1.1
Яйценоскость на несушку, шт.	236	281
Расход кормов на 10 яиц, кг	1.95	4.55
Среднесуточный прирост бройлеров, г	18	38
Расход кормов на 1 кг мяса, кг	122	118

Таблица 7

Динамика заболеваемости скота особо опасными болезнями (количество голов)

№	Болезни сельскохозяйственных животных	1990 г.		2002 г.	
		Европа	Россия	Европа	Россия
1	Ящур	—	—	4000	—
2	Бешенство	19 596	1641	6962	3950
3	Губкообразная энцефалопатия КРС	24 612	—	191 909	—
4	Классическая чума свиней	7845	7541	5641	812
5	Туберкулез	12 741	116 200	35 318	7600
7	Бруцеллез	18 326	40 100	16 709	7400

в одном из хозяйств Московской области (1995) обошлась в 3.2 млн долл., а в одном из хозяйств Приморского края (2000) – более чем в 300 тыс. долл.

Бешенство – острая вирусная болезнь животных и человека, ведущая к летальному исходу. По данным ВОЗ, эта болезнь входит в первую пятерку общих для человека и животных болезней, наносящих наибольший социально-экономический ущерб. В настоящее время бешенство регистрируется в 113 странах мира, поражая ежегодно около 50 тыс. человек. В Европе за последние 12 лет количество случаев бешенства заметно сократилось, тогда как в Российской Федерации отмечен более чем двукратный рост заболеваемости.

В 2001 г. Россельхозакадемией и РАМН была разработана Федеральная целевая программа “О неотложных мерах по борьбе с бешенством в Российской Федерации”, реализация которой позволит резко сократить заболеваемость бешенством среди сельскохозяйственных и диких животных.

В настоящее время в мире сохраняется сложная эпизоотическая ситуация по губкообразной энцефалопатии (ГЭ) крупного рогатого скота. Неблагополучными по этой инфекции являются 20 стран мира. Эпизоотия ГЭ крупного рогатого скота нанесла огромный экономический ущерб странам Европы, которые вынуждены были уничтожить около 4 млн голов скота (без учета Великобритании). В Великобритании прямые убытки оцениваются в 7 млрд долл. (к настоящему времени забито более 5.21 млн голов взрослого скота и более 0.86 млн голов телят). Проблема стала социальной, так как эпизоотия привела к разорению свыше 41 тыс. фермерских хозяйств.

Складывающаяся эпизоотическая обстановка создает реальную угрозу заноса на территорию России возбудителей инфекционных болезней животных, в том числе относящихся по классификации Международного эпизоотического бюро (МЭБ) к списку А, то есть наиболее опасных.

Следует отметить, что такие общие для человека и животных инфекции, как туберкулез, бруцеллез, лейкоз, сальмонеллез и др., можно победить, когда усилия ветеринарной и медицинской науки и практики будут скоординированы и целенаправленны.

Продовольственная безопасность страны – это в конечном счете фактический уровень потребления продуктов питания населением. Природно-климатические условия Российской Федерации предопределяют довольно

высокие показатели уровня потребления продуктов питания. В 1988–1990 гг. он превышал 3000 кал. В настоящее время калорийность в сутки у нас составляет 2160 кал. Снижение потребления продуктов питания уже влияет на состояние здоровья населения, а в дальнейшем приведет к серьезным негативным последствиям.

Пищевыми институтами и вузами разработано новое поколение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий глубокой комплексной переработки сельскохозяйственной продукции, реализующее современные физико-химические, биохимические, микробиологические и биотехнологические методы обработки сырья и производства продуктов питания, отвечающие требованиям концепции здорового питания населения. Об уровне разработок можно судить по продаже десятков лицензий на технологии производства пищевых продуктов в Канаду, Японию, Францию, Германию и другие страны (табл. 8).

Приоритетным является создание технологий производства продуктов нового поколения для профилактического, лечебного детского и геродиетического питания, разработка методов компьютерного проектирования функциональных продуктов, сбалансированных по аминокислотному, углеводному, витаминному и минеральному составам.

Созданы десятки молочных продуктов, обогащенных бифидобактериями, В-каротином и другими биологически активными добавками, в том числе бифилин, просталакт, биойогурт, молочнокислый напиток “Тонус”, мягкий сыр “Славянский”, альбуминная биопаста и многие другие продукты.

Большой практический интерес представляет использование высокоэффективных заквасок, обогащенных молочнокислыми бактериями, при производстве твердых сычужных сыров, ферментных препаратов и дрожжей в спиртовой промышленности.

На экспериментальном заводе ВНИИ молочной промышленности освоен промышленный выпуск отечественного препарата лактулозы с торговой маркой “Лактусан”. Этот препарат, являющийся продуктом конверсии молочного сахара, получил всемирное признание как один из наиболее эффективных пробиотиков, обладающих явно выраженным лечебным эффектом. “Лактусан-2” применяется в рецептурах 14 наименований продуктов профилактического и лечебного назначения для детского и геродиетического питания и производится уже на 100 молочных заводах страны. Эта работа удостоена премии Правительства РФ.

Учеными пищевоконцентратной промышленности и специальной пищевой технологии разработан широкий ассортимент высококачественных сбалансированных продуктов для питания космонавтов, в том числе международных экипажей на МКС, специальных воинских контингентов, включая

Таблица 8

**Создание новых технологий
и продуктов питания в 1999–2003 гг.**

Новые технологии	858
Новые продукты питания,	2570
всего	
в том числе	
детского питания	196
лечебно-профилактического	213
питания	
Получено патентов	1336
Продано лицензий	28

подводников. Идет работа над созданием пищевых концентратов для использования в экстремальных условиях.

В настоящее время большую актуальность приобретает вопрос о генетической безопасности пищевых продуктов. Исследования показывают, что пищевые продукты в зависимости от качества сырья и технологии его переработки могут содержать как генотоксиканты, которые представляют опасность для наследственности человека, так и антимутагены, способные увеличивать устойчивость организма к генотоксическим влияниям средовых факторов. К сожалению, сведения об этих процессах и контроль за ними недостаточен. Поэтому настоятельно требуется стыковка двух отраслевых знаний: пищевой технологии и медико-биологических исследований.

ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ И ЭТНОКУЛЬТУРНЫЕ АСПЕКТЫ ЗДОРОВЬЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Член-корреспондент РАН В.А. Тишков,
доктор экономических наук А.Г. Вишневский*

Здоровье ассоциируется прежде всего с той областью, которой занимаются медицина и социальный институт здравоохранения, а также с естественно-научным знанием. Постановка соответствующих вопросов в контексте гуманитарного знания может показаться вторжением на чужую территорию. Однако нерешенность проблем, связанных с сохранением здоровья россиян, указывает на недостаточность привычных, чрезмерно технократичных подходов к их решению. Естественно-научные взгляды на феномен здоровья должны быть дополнены гуманитарными подходами.

ОБЩЕГУМАНИТАРНЫЙ ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ

По мнению российского философа Б.Г. Юдина, понимание здоровья включает три составляющие: а) естественно-научное и биолого-медицинское знание как поле объективных данных и твердых фактов; б) оформляемые через посредство культуры обыденные представления о здоровье в жизни людей; в) ценностное содержание понятия “здоровье”, формируемое целенаправленными усилиями, включая ученых-гуманитариев. Все три составляющие изначально переплетены, и ценностные установки вступают в действие уже при формировании как житейских, так и биомедицинских знаний.

Сегодня наблюдается не только интенсивное развитие научной медицины, но радикально меняются житейские и ценностные представления о здоровье. Современный человек понимает и определяет здоровье по-новому, все больше воспринимая его как то, что поддается контролю, может поддерживаться и даже улучшаться. В нашей стране эта тенденция усиливается кардинальными изменениями системы организации здравоохранения. При-

чем дело не только и не столько в попытках ее реформирования. Гораздо серьезнее на ситуацию влияет трансформация отношений между людьми в этой сфере.

Многие россияне привычно связывают собственное здоровье прежде всего с официальной, олицетворяемой государством медициной. Тем не менее люди все чаще вынужденно или намеренно отказываются от услуг не всегда эффективного бюджетного здравоохранения. Отсюда бурное развитие рынка платных медицинских услуг и так называемого целительства. Объем этого рынка по-настоящему никто не считал, но он все более агрессивно борется за потребителя: сейчас действуют более 25 тыс. «народных целителей». Многие люди отказываются от контактов с официальной медициной, меняя устоявшиеся представления и реализуя свободу выбора. В этом сдвиге есть свои плюсы и свои минусы. Человек становится более активным в вопросах сохранения своего здоровья, но в то же время оказывается один на один с миром как шарлатанов и дельцов, так и новейших медицинских технологий, о которых зачастую не может компетентно судить.

Новая ситуация, когда человек проявляет инициативу и использует разнообразные варианты в заботе о собственном здоровье, порождает необходимость *гуманитарной экспертизы проблем здоровья*. Имеется в виду систематическая оценка как предлагаемых и практикуемых средств врачевания в институциональной системе здравоохранения и вне ее, так и любых новых технологий с точки зрения их воздействия на человека, на условия его жизни и возможности развития. Гуманитарная наука приходит к выводу, что здоровье должно характеризоваться не только состоянием нашего организма и параметрами окружающей среды, но и тем, как мы понимаем самих себя. Конкретные характеристики здоровья зависят от того, как меняемся мы сами, и от того, как меняется мир, в котором мы живем. Это, пожалуй, одно из наиболее существенных наблюдений отечественных философов.

ИСТОРИКО-АНТРОПОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Важнейшую роль в адаптации человека к условиям окружающей среды играет социально-экономический уровень развития популяций и обществ. Изучение географической изменчивости морфологических и физиологических особенностей отдельных этнотерриториальных групп показало, что адаптация происходит не только на социальном, но и на биологическом уровне. Проведенное под руководством академика Т.И. Алексеевой исследование около 100 популяций, проживающих в различных экологических нишах бывшего СССР, и разработка других данных о географической изменчивости особенностей строения тела и состояния внутренней среды организма выявило определенные закономерности. Выяснилось, что на основании географического критерия по общим размерам тела и их соотношениям население Земли может быть разделено на две большие группы: жителей тропических и внетропических широт. Существуют территориальные вариации и в типе обмена веществ. Если географическая изменчивость строения тела и обмена веществ в значительной мере обусловлена климатическими факторами, то вариации микроэлементного состава организма человека обусловлены

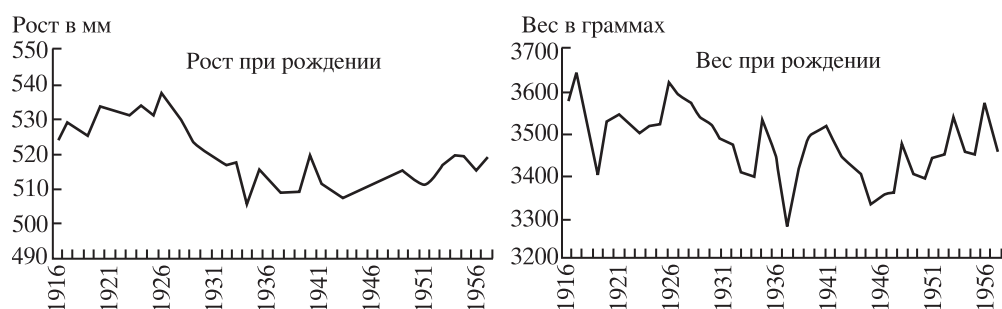


Рис. 1. Рост и вес новорожденных в Москве в 1916–1956 гг.

Источник: Миронов Б.Н. Рост и вес россиян сталинской эпохи // Демоскоп Weekly. 2003. Октябрь. № 129, 130 (<http://demoscope.ru/weekly/2003/0129.tema01.php>)

геохимической ситуацией. Минеральный состав скелета и волос, а также некоторые размеры скелета показывают связь человеческих популяций с геохимической средой обитания.

Строение и физиологические признаки, которые характерны для коренных жителей той или иной экологической ниши, можно рассматривать как реакцию на воздействие комплекса естественных условий, играющую приспособительную роль. Эта норма биологической реакции на комплекс условий окружающей среды называется *адаптивным типом* (АТ). Адаптивный тип независим от расовой и этнической принадлежности. В одних и тех же географических условиях разные по происхождению этнотерриториальные сообщества имеют одно и то же направление приспособительных реакций.

Судя по их географической приуроченности, АТ складывались на протяжении всей человеческой истории и успели оформиться вполне четко. Население каждой экологической ниши отличается своими морфофункциональными чертами, имеющими адаптивную природу. Эти характеристики формируются на протяжении жизни многих поколений, они необратимы. Будучи наследственно обусловленным, адаптивный тип создает благоприятные возможности для существования в той или иной экологической нише. И хотя АТ у человека, в отличие от географических форм у других представителей животного мира, не специализирован, однако изменение экологической обстановки не проходит безболезненно. Известны примеры нарушения процесса обмена веществ и физического развития, увеличения заболеваемости у лиц, осваивающих новые экологические ниши, как, например, при формировании нового населения в районах Крайнего Севера за счет переселенцев из умеренной климатической зоны. Более или менее успешно адаптируются в измененных условиях те группы населения, происхождение которых связано с экологическими нишами, близкими по своим климатическим и геохимическим характеристикам районам нового освоения. Таким образом, феномен адаптивной дифференциации человечества заставляет с осторожностью относиться к любым существенным изменениям экологической обстановки, с которой исторически связаны те или иные народы. По крайней мере, можно с уверенностью сказать, что недавний призыв к возвращению жителей в районы Крайнего Севера направлен против здоровья россиян.

Второй пример из российской истории XX в. Мы обоснованно связываем ухудшение здоровья населения России с недостатком средств у государства и граждан. Но этот фактор объясняет далеко не все. Нынешнее неблагополучие имеет исторические корни. Не исключено, что отчасти мы платим сегодня по векселям, выданным еще в 1930-е годы, когда риск для здоровья народа создавали форсированная индустриализация, массовая миграция в города, низкий уровень жизни и бытовая неустроенность десятков миллионов людей. Но тогда любые критические замечания трактовались как вредительство. В Советской энциклопедии сталинских времен утверждалось: «Вредительская борьба против взятых партией бурных темпов развития промышленности нашла свое выражение в “теориях” о нажитой инвалидности, о неизбежности роста заболеваемости и травматизма в связи с ударничеством и т.п.». Академик И.П. Павлов еще мог позволить себе написать в 1934 г. в письме наркому здравоохранения СССР Т.Н. Каминскому: “Останавливаете ли Вы Ваше внимание достаточно на том, что недоедание и повторяющееся голодание в массе населения с их непременными спутниками – повсеместными эпидемиями подрывают силы народа? В физическом здоровье нации, в этом первом и непременном условии, – прочный фундамент государства”. Но услышан он не был.

Недавние исследования историков принесли подтверждение правоты И.П. Павлова. Б.Н. Миронов обработал массивы историко-антропометрических данных и показал, что в 1930-е годы в России на время прервалась вековая тенденция роста таких важнейших характеристик биологического статуса человека, как рост и вес. Эта тенденция явственно обозначилась во второй половине XIX в. и сохранялась у всех поколений, родившихся до Первой мировой войны. Но у поколений, появившихся на свет между 1915 и 1935 гг., позитивная динамика не наблюдалась. Особенно наглядны изменения антропометрических характеристик новорожденных, на которых четко сказывается биологический статус родителей (рис. 1). Длина тела новорожденных продолжала увеличиваться даже в течение Первой мировой войны, а их вес, резко сократившийся в пиковый период гражданской войны, снова стал быстро расти после ее окончания и при переходе к нэпу. Но с конца 1920-х годов оба показателя резко пошли вниз, а уровень середины 1920-х годов не был восстановлен и 30 лет спустя, к середине 1950-х.

ПАРАДИГМА КРИЗИСА И ЗДОРОВЬЕ

В зависимости от ситуации общество может либо способствовать здоровому развитию человека, либо препятствовать ему, иначе говоря, оказывать либо саногенное, либо патогенное воздействие на психику каждой отдельной личности, что сказывается и на общественном здоровье. Конечно, главную роль играют социальные условия жизни. Наиболее часто упоминаемым является пример радикальных перемен в России в последние 10–15 лет как периода, связанного с ухудшением социальных условий жизни и вследствие этого с ухудшением здоровья населения страны. Эта точка зрения доминирует, в ней много полезного, но она основана на так называемом социологиче-

ском реализме и игнорирует более тонкое понимание взаимосвязи социальной реальности и здоровья нации.

Во-первых, далеко не все даже объективные показатели подходят под эту схему: например, число самоубийств, а также уровень алкоголизации населения увеличились в 2000–2002 гг., когда в стране наблюдалось улучшение социально-экономической ситуации. По данным российских социологов, в 2000–2001 гг. потребление спиртных напитков подростками выросло на 35%, распространенность курения достигла самого высокого уровня после 1992 г. Учитывая только социальный контекст, невозможно объяснить и динамику смертности.

Во-вторых, реалистский подход игнорирует идеологические и политические предписания, эмоциональные мобилизации, отсутствие позитивных объяснений со стороны экспертного сообщества. В силу ряда причин, в том числе и слабого понимания нового общества, мы имеем дело не только с реальными кризисом и бедностью, но и с ментальной парадигмой кризиса и психологической бедностью. Образ катастрофы и тяжелого времени насаждается через научные и псевдонаучные тексты, теледебаты, эстраду, театр, литературные произведения. Страхи, ощущение бедности и безысходности не есть простое механическое отражение динамики социальной жизни. Сначала через СМИ и другие каналы воздействия должно быть объяснено, *что* значит быть бедным и униженным. Как показывают наши наблюдения и новейшие исследования историков, бедность и безысходность, страхи и протест, а за ними конфликты и революции возникают не там, где действительно плохо, а где общественные перемены непонятны большинству населения, даже если они ведут к улучшению жизни. *В России имеет место социально-психологическая перегрузка общества самим фактом радикальных перемен, к которым нужно учиться приспосабливаться.*

Насаждение парадигмы обмана народа и краха страны ведет к отрицанию столь очевидных позитивных перемен, как всеобщая автомобилизация, беспрецедентные размеры строительства, ремонта и обретения жилья, достижение самого большого в истории нашей страны объема и набора потребляемых населением товаров и услуг, включая, кстати, количество и номенклатуру лекарств, удвоение численности студентов, прорыв в культурном производстве, снижение младенческой смертности и многие другие.

Таким образом, *разрушительное воздействие на здоровье оказывают не просто “реальные факты” социальной жизни, а то, как жизнь объясняется профессиональными создателями субъективных представлений, от ученых и политиков до публицистов, литераторов и религиозных деятелей.* По этой части за научным гуманитарным сообществом числится большой долг.

ЭТНОКУЛЬТУРНЫЕ АСПЕКТЫ

В последние годы стали актуальными культурологические подходы к здоровью, особенно их этническая составляющая. Но здесь возникает не только проблема лучшего понимания и использования культурного фактора, но и абсолютизации этнических различий вплоть до поиска некоего генетического кода этничности. К числу этнокультурных факторов здоровья, помимо так

называемого народного знания и материализованных способов адаптации (типы жилища, одежды, пищи), можно отнести исторический опыт и религиозные воззрения того или иного общества-нации, а также социальный опыт этнических культур (характер семейно-родственных отношений, возрастные и тендерные роли и статусы, система воспитания, ритуалы, нормативно-ценностные установки).

В России сложились макротрадиции и общие ценности, сформированные конкретным опытом, идеологией и даже общей мифологией. Далеко не все они представляют собой “вековую мудрость” и народный опыт здоровой жизни, на чем, к сожалению, иногда настаивает романтическое обществознание. В частности, утвердилось устойчивое мнение о россиянах как о пьющем народе и о России как пьющей стране. Этот навязанный образ носит разрушительный характер и воспроизводится по инерции в ответ на ожидания внешнего мира. Другие распространенные представления – о “русской удали” и “русском авось” – не в меньшей мере ответственны за гибель людей, чем, скажем, плохие дороги или слабая осведомленность в области техники безопасности. Нет научных аргументов, подтверждающих историческую заданность подобных негативных образов, они не составляют суть российского народа. Образ трезвого русского вполне возможен и необходим. Удалось же англичанам избавиться от некогда устойчивого представления о них как о самом пьющем народе Европы!

Если говорить об этнических традициях, то здесь также сложились специфические стереотипы отношения к здоровью. Часто приводятся данные об отсутствии невротических расстройств у коренных малочисленных народов Севера, высоком уровне самоубийств среди угро-финских народов и низкой распространенности расстройств личности (психопатий) у бурят, калмыков, ряда народов Северного Кавказа. Подобные случаи требуют более внимательного рассмотрения, вплоть до оценки надежности статистических данных и систем регистрации больных в разных нормативных средах. Едва ли данные о самоубийствах следует связывать с некогда бытовавшими среди российских угро-финнов языческими убеждениями и с утратой ими традиционных культурных корней, как полагают некоторые специалисты. Фундаменталистский подход к традиции и культурной норме несет в себе опасность демобилизации и фатализма. Тем не менее *в культуре и традиции содержится больше смысла, чем мы это осознаем, и больше ресурсов, чем мы используем.*

Очевидна необходимость соединения институциональной медицины с системами профилактики и сохранения психического и физического здоровья, сложившимися в традиционной культуре. Этномедицина включает различные средства поддержания психического, психосоматического и собственно соматического здоровья. Можно выделить несколько типовых методов:

- методы *превентивной психотерапии* в системе традиционного ритма жизни, обрядовой культуры, стимулирующие духовный потенциал народа;
- *непреднамеренная психотерапия* в варианте установки, смоделированной в сознании человека традиционного общества: вера в шамана, колдуна, знахаря и аналогичные знаковые фигуры общества, абсолютная убежденность в действенности магико-религиозных обрядов;

- *психоэнергетические целительские практики* (заговорно-заклинательные акты, камлания, зикры) и собственно “энергетические” практики, в основе которых лежит рефлексотерапия в различных вариантах;
- *физиотерапевтические и натуропатические методы*, наработанные за счет знания природной среды и наблюдений за человеком.

Многие из натуропатических, физио- и рефлексотерапевтических методов издавна осваивались профессиональной медициной, чего нельзя сказать о психотерапевтических практиках. Сейчас изучением системы сохранения жизни и поддержания здоровья в традиционном обществе, а также современного феномена “народного целительства” занимаются представители разных научных дисциплин во всем мире, развивается мощное научное направление, называемое медицинской антропологией. В некоторых институтах РАН в последние годы предпринимаются попытки междисциплинарного исследования соответствующих проблем, но как комплексная дисциплина медицинская антропология у нас пока не сложилась.

НЕЗАВЕРШЕННОСТЬ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА

Успехи в борьбе за здоровье человека в XX в. в промышленно развитых странах, в том числе в России, явились следствием так называемого *эпидемиологического перехода*, который осуществляется в два этапа. На первом успехи достигаются благодаря патерналистской стратегии борьбы за здоровье и жизнь человека. Эта стратегия основана на массовых профилактических мероприятиях, которые не требуют большой активности со стороны самого населения. Именно благодаря такой стратегии добился успехов и СССР, вошедший к началу 60-х годов в число трех десятков стран с наиболее низкой смертностью. Однако к середине 60-х годов возможности этой стратегии в развитых странах оказались исчерпанными.

На втором этапе перехода понадобилось выработать новую стратегию действий, новый тип профилактики, направленной на уменьшение риска смерти от заболеваний неинфекционного происхождения, особенно сердечно-сосудистых и рака, а также от несчастных случаев, насилия и других причин, не связанных с болезнями. Здесь требуется более активное и сознательное отношение к своему здоровью каждого человека, а также значительно

Таблица 1

Отставание России по ожидаемой продолжительности жизни в начале и в конце XX в., в годах

Год	От США	От Франции	От Швеции	От Японии
Мужчины				
1900	15.9	12.7	20.3	14.5
2000	15.2	16.5	18.5	18.7
Женщины				
1900	16.2	14.1	20.8	13.1
2000	7.5	10,8	9.9	12.4

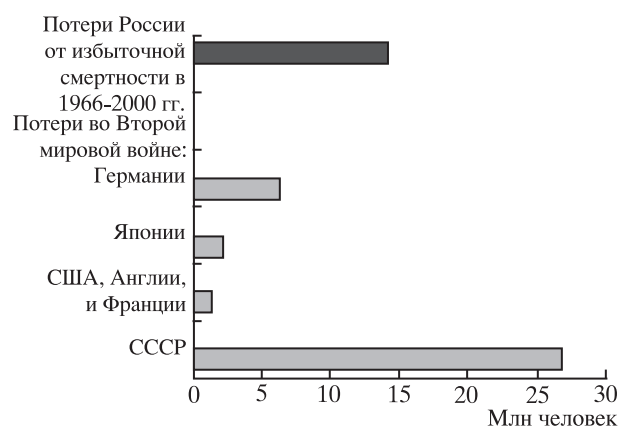


Рис. 2. Людские потери России от избыточной смертности в последней трети XX в. и потери некоторых стран во Второй мировой войне

большие материальные затраты на охрану и восстановление здоровья, что, в свою очередь, способствует повышению его общественной ценности. Западным странам удалось выработать и реализовать такую стратегию. В СССР и в России ответ на новые требования времени не был найден. В результате наше отставание стало нарастать. К 2000 г. у мужчин оно во многих случаях стало большим, чем было в 1900 г. (табл. 1).

Отставание обернулось огромными демографическими потерями. Если предположить, что застоя последней трети XX в. не было бы и с 1966 по 2000 г. возрастные коэффициенты смертности в России менялись бы теми же темпами, как в среднем в странах ЕС, США и Японии в период с 1961 по 1996 г., а другие составляющие демографической динамики (рождаемость и миграция) оставались бы такими, какими они были в действительности, то общее число умерших за период 1966–2000 гг. было бы меньше фактического на 14,2 млн, из которых почти 10 млн приходятся на возрастные группы от 15 до 65 лет, из них около 8 млн – мужчины (рис. 2).

РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ И ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДОРОВЬЯ

Огромность территории России и разнообразие условий жизни в регионах делают неизбежными различия в состоянии здоровья населения страны. Закономерность пространственной изменчивости смертности населения заключается в ее увеличении в направлении с юго-запада на северо-восток. Большинство территорий с относительно высокой смертностью расположено на севере европейской части, на Среднем и Северном Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке. Территории с относительно низкой смертностью находятся на Северном Кавказе, в Поволжье и Центрально-Черноземном районе. Для областей густонаселенного Центрального района в основном характерен средний уровень смертности.

Данные статистики и исторические источники позволяют предположить, что эта закономерность действует в России, по крайней мере, с начала XX в.

Северо-восточный градиент смертности, видимо, связан с общим уровнем социально-экономического развития и освоенности территорий, а также с более или менее благоприятными природными условиями. Повышенный уровень заработной платы на Севере (“северные” надбавки) не компенсировал негативного воздействия на здоровье климата этого сурового края. Существенным фактором различий в показателях смертности между регионами является и уровень потребления спиртных напитков.

На основе интегральной оценки показателей младенческой смертности и средней ожидаемой продолжительности жизни мужчин и женщин российские ученые В.С. Тикунов и Б.Б. Прохоров произвели ранжирование 273 стран и всех регионов России. В результате дано обобществленное представление о здоровье населения страны и ее регионов в мировом контексте (табл. 2).

Согласно этой оценке, все регионы России разместились в группах с повышенным и средним уровнем здоровья населения. Только Республика Тыва попала в число территорий с низким уровнем здоровья. Российская Федерация в целом оказалась вблизи границы между группами территорий с повышенным и средним уровнем здоровья. В пределах России наиболее благополучная ситуация в Санкт-Петербурге и Москве, республиках Северного Кавказа, Белгородской, Брянской, Волгоградской, Воронежской, Орловской, Пензенской, Рязанской областях, в Татарии и Чувашии. В этих регионах приемлемый уровень здоровья, большинство параметров которого выше, чем в других краях, областях и республиках России, сохраняется на протяжении достаточно длительного времени и продолжает поддерживаться без резких изменений.

К неблагополучным регионам относятся: Тыва, Хабаровский край, Сахалинская, Кемеровская, Иркутская области, Красноярский край, республики Коми и Якутия, Магаданская, Томская, Новгородская области. Низкие показатели здоровья отмечены здесь и в городах, и в сельской местности. А в Калмыкии, Бурятии, Приморском крае и на Камчатке низкий уровень здоровья характерен преимущественно для горожан. Неудовлетворительное состояние здоровья сельского населения отмечается в Псковской, Тверской, Тульской, Калужской, Калининградской, Свердловской, Пермской областях.

Полученные результаты требуют осмысления, необходимо иметь в виду возможные погрешности в данных. Например, может показаться сомнительным лидирующее положение Ингушетии, но следует принять во внимание, что в республике самое молодое среди регионов РФ население и практически отсутствует пьянство. Демографический и этнографический анализ регионов Северного Кавказа показывает, что это вовсе не зоны массовой бедности, как считают некоторые специалисты, опираясь только на официальные статистические данные, и состояние здоровья населения там действительно лучше, чем в среднем по стране.

В целом, хотя колебания вокруг общероссийского уровня имеют место, общее направление изменений и структурные характеристики в основном одни и те же. Таким образом, главные выводы, касающиеся России, справедливы и для регионов и могут приниматься во внимание при разработке региональных программ повышения здоровья и снижения смертности населения, хотя региональные особенности должны изучаться и учитываться.

Таблица 2

**Интегральная оценка здоровья населения России и ее регионов
в сравнении с другими странами**

Уровень здоровья	Места	Страны мира и регионы РФ
Высокий	1–44	Япония, Исландия, Швеция, Швейцария, Франция, Норвегия, Италия, Австралия, Канада, Нидерланды, Лихтенштейн, Бельгия, Кипр, Австрия, Испания, Израиль, Греция, Сингапур, Финляндия, Мальта, Германия, Люксембург, Великобритания, Ирландия, Новая Зеландия, США, Мартиника, Дания, Доминика, Португалия, Сан-Марино, Куба, Тайвань, Гвиана фр., Антильские о. (Нид.), Коста-Рика, Кувейт, Словения, Реюньон, Барбадос, Пуэрто-Рико, Гваделупа, Гуам, Чехия
Повышенный	45–155	ОАЕ, Южная Корея, Словакия, Новая Каледония, Катар, Чили, Югославия, Армения, Антигуа и Барбадос, Малайзия, Босния и Герцеговина, Ямайка, Польша, Грузия, Сент-Винсент и Гренадины, Уругвай, Бруней, Ингушетия , Шри-Ланка, Бахрейн, Аргентина, Панама, Хорватия, Сент-Люсия, Македония, Венесуэлла, Болгария, Багамские о., Албания, Гренада, Мексика, Полинезия фр., Тринидад и Тобаго, Иордания, Сейшельские о., Макао, Венгрия, Газа, Дагестан , Литва, Оман, Санкт-Петербург , О-в Морис, Белгородская обл. , Суринам, Соломоновы о., Кабардино-Балкария , Румыния, Белоруссия, Узбекистан, Азербайджан, Сев. Корея, Москва , Китай, Украина, Мурманская обл. , Карачаево-Черкесия , Воронежская обл. , Колумбия, Эстония, Татарстан , Сауд. Аравия, Мордовия , Ставропольский край , Пензенская обл. , Самарская обл., Адыгея, Липецкая обл., Башкортостан, Чувашия, Волгоградская обл., Ливан, Марий Эл, Казахстан, Краснодарский край , Саратовская обл., Ульяновская обл., Орловская обл., Сев. Осетия, Курганская обл., Челябинская обл., Таиланд, Тюменская обл., Тамбовская обл., Ярославская обл., Московская обл., Белиз, Владимирская обл., Брянская обл., Новосибирская обл., Молдавия, Калмыкия, Омская обл., Удмуртия, Нижегородская обл., Курская обл., Ленинградская обл., Свердловская обл., Кировская обл., Ростовская обл., Астраханская обл., Российская Федерация, Архангельская обл., Латвия, Оренбургская обл., Вологодская обл., Сент-Кристофер и Невис, Рязанская обл., Доминиканская респ., Калужская обл. , Алтайский край
Средний	156–206	Карелия , Костромская обл. , Магаданская обл., Коми, Эквадор, Иордания, Калининградская обл., Пермская обл., Смоленская обл., Парагвай, Тверская обл., Томская обл., Новгородская обл., Тульская обл., Ивановская обл., Таджикистан, Хабаровский край, Псковская обл., Тунис, Камчатская обл., Сальвадор, Якутия, Приморский край, Вьетнам, Бурятия, Филиппины, Гондурас, Сирия, Киргизия, Красноярский край, Иркутская обл., Турция, Алжир, Читинская обл., Сахалинская обл., Хакасия, Кемеровская обл., Амурская обл., Бразилия, Чукотский АО, Иран, Еврейская АО, Фиджи, Никарагуа, Марокко, Микронезия, Туркмения, Перу, Алтай, Мальдивская респ., Гватемала

Таблица 2 (окончание)

Уровень здоровья	Места	Страны мира и регионы РФ
Низкий	207–245	Сан-Томе и Принсипи, О-ва Зеленого Мыса, Египет, Гайана, Ливия, Монголия, Бирма, Индонезия, Маршалловы о., Тыва , Боливия, Пакистан, Индия, ЮАР, Йемен, Ботсвана, Папуа-Новая Гвинея, Бангладеш, Коморские о., Намибия, Гана, Лесото, Камерун, Кения, Свазиленд, Того, Мадагаскар, Либерия, Зимбабве, Нигерия, Гаити, Непал, Ирак, Судан, Габон, Кот-Дивуар, Бенин, Сенегал, Конго
Очень низкий	246–273	Мавритания, Лаос, Танзания, Цент.-Афр. Республика, Камбоджа, Бурунди, Эритрея, Джибути, Буркина-Фасо, Гамбия, Экватор, Гвинея, Конго, Эфиопия, Сомали, Мозамбик, Чад, Нигер, Ангола, Уганда, Замбия, Руанда, Мали, Западная Сахара, Гвинея, Гвинея-Бисау, Малави, Афганистан, Сьерра-Леоне

ЭТНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДОРОВЬЯ

Выполненные еще в 1920-х годах расчеты по материалам переписи населения 1897 г. показали, что в конце XIX в. наиболее многочисленный народ России – русские – имел самую низкую продолжительность жизни из 11 изученных групп населения (русские, украинцы, белорусы, молдаване, чуваша, татары, башкиры, латыши, литовцы, эстонцы, евреи) и из всего населения Европейской части страны (в нынешних границах Российской Федерации), главным образом за счет высокой младенческой смертности. Более поздние данные об ожидаемой продолжительности жизни по крупным национальностям, проживающим в России, представлены в таблице 3.

Как видим, продолжительность жизни русских весьма близка к среднему для России показателю. Существенно большая продолжительность жизни у народов Северного Кавказа: адыгейцев, балкарцев, ингушей, кабардинцев, карачаевцев, осетин, черкесов, чеченцев. Ниже общероссийского этот показатель у народов, проживающих на севере и востоке страны: алтайцев, бурят, карелов, коми, тувинцев, хакасов, якутов. Самый высокий уровень смертности у тувинцев. Это результат сочетания незавершенности первой фазы эпидемиологического перехода и негативных последствий модернизации экономики и быстрого разрушения традиционного образа жизни. Данная модель в той или иной мере объясняет более высокий уровень смертности и других народов этой группы, особенно коренных малочисленных народов Севера.

Этнические различия в смертности, по-видимому, довольно устойчивы. Причины этих различий – в сочетании традиционных экономических и культурных особенностей образа жизни народов со спецификой и темпами их общей и демографической модернизации. В частности, можно искать объяснение высокой (на фоне других национальностей) смертности русских в давних культурных традициях. В дореволюционный период, столкнувшись с фактом более высокой детской смертности у русских по сравнению с некоторыми мусульманскими народами России, демографы связывали это разли-

Таблица 3

**Ожидаемая продолжительность жизни населения России по национальностям,
1988–1989 гг., в годах**

Национальность	Продолжительность жизни при рождении		Национальность	Продолжительность жизни при рождении	
	мужчины	женщины		мужчины	женщины
Все национальности	64,4	74.4	Коми*	61.0	72.2
Адыгейцы*	69.0	81.8	Марийцы*	62.0	71.4
Алтайцы*	59.7	69.3	Мордва*	64.8	75.8
Армяне	66.9	74.3	Немцы	66.6	75.1
Балкарцы	70.6	81.2	Осетины*	67.6	78.5
Башкиры*	65.3	75.3	Русские	64.4	74.5
Белорусы	65.8	74.8	Татары	65.7	76.0
Буряты*	63.4	71.8	Тувинцы*	57.2	65.2
Евреи	70.1	73.9	Удмурты*	62.4	74.4
Ингуши*	66.7	79.4	Украинцы	66.3	74.5
Кабардинцы*	66.3	77.6	Хакасы*	58.7	71.1
Казахи	63.0	75.1	Черкесы*	70.9	77.9
Калмыки*	59.8	70.0	Чеченцы*	66.8	78.1
Карачаевцы*	72.7	84.6	Чуваши*	65.1	74.6
Карелы*	60.9	72.6	Якуты*	62.0	69.8

Источники: Неравенство и смертность в России. М., 2000. С. 53; для национальностей, отмеченных звездочками, неопубликованные оценки предоставлены Е.М. Андреевым.

чие, в частности, с традиционными способами вскармливания грудных детей. Однако сейчас этот фактор утратил свое значение. Вступили в действие новые факторы. Какие?

В конце XX в. среди основных национальностей бывшего СССР наибольшей доля городского населения (78%) была среди русских, которые еще в начале XX в. оставались по преимуществу сельскими жителями. Очень высокие темпы урбанизации русского населения, массовая миграция сельских жителей в города сочетались с его значительной вовлеченностью в межрегиональные миграции в ходе освоения новых территорий и промышленного развития бывших окраин империи. Миграции XX в. существенно увеличили долю русских, живущих в регионах с непривычными для них, иногда очень суровыми, природными условиями. Показатели смертности в Сибири и на Дальнем Востоке выше, чем в Центральной России. В то же время в Белоруссии, Эстонии или Литве (то есть на территориях, где природно-климатические условия мало отличаются от центра и севера европейской части России) зафиксирован минимальный уровень возрастной смертности русских, максимальный же отмечается в Средней Азии и Закавказье.

С другой стороны, в России есть народы с более давним опытом городской жизни (например, евреи), что облегчило их социальную адаптацию в период форсированной урбанизации и сказалось на относительно благополучных показателях смертности. Другие народы (например, Северного Кавказа) в силу относительно слабой вовлеченности в урбанизационные процессы, на-

против, еще не столкнулись в полной мере с трудностями адаптации к жизни в промышленно-городской среде, с угрозами здоровью, которые приобретают особую важность на втором этапе эпидемиологического перехода. Первый же его этап они в значительной мере уже прошли. Поэтому показатели смертности у них оказываются лучше, чем у русских.

СМЕРТНОСТЬ ОТ ВНЕШНИХ ПРИЧИН КАК ГЛАВНАЯ ПРОБЛЕМА

Свидетельством незавершенности эпидемиологического перехода в России является специфика структуры смертности по причинам. Она характеризуется, с одной стороны, очень высокой вероятностью умереть от экзогенных причин, а с другой – низким возрастом смерти от причин эндогенной этиологии или подобных им (табл. 4).

Особенно неблагоприятно положение со смертностью от так называемых внешних причин – несчастных случаев, травм, насилия и т.п. На Западе средний возраст смерти от этого класса причин у мужчин на 23 года ниже, чем от болезней системы кровообращения. Но у нас он еще на 13.5 года меньше, чем на Западе, а вероятность умереть от такой причины в 3.5 раза выше. Поэтому именно *смертность от внешних причин* представляет собой наибольшую угрозу, а снижение уровня этого вида смертности – значительный резерв удлинения жизни россиян.

В то время как на Западе смертность от внешних причин снижалась, в России она, будучи изначально более высокой, росла. Снижение наблюдалось только в период антиалкогольной кампании, прекращение которой вызвало резкий скачок экзогенной смертности в начале 1990-х годов (от алкоголя умерла двойная пятилетняя когорта, включая тех, кто спас свои жизни в период кампании). Пришла пора более объективно оценить опыт борьбы с алкоголизмом в нашей стране, включая последнюю попытку, предпринятую

Таблица 4

Вероятность умереть и средний возраст смерти в России (2000 г.) и странах Запада* (1999 г.)

Причина смерти	Вероятность умереть от данной причины, на 1000		Средний возраст смерти, лет		
<i>Мужчины</i>					
Болезни системы кровообращения	493	382	67.6	78.6	11.0
Внешние причины	213	59	42.2	55.7	13.5
Новообразования	138	268	63.6	73.8	10.2
<i>Женщины</i>					
Болезни системы кровообращения	711	445	77.6	84.2	6.6
Внешние причины	65	34	48.7	68.5	19.8
Новообразования	125	206	66.1	75.3	8.9
* Включая 15 стран ЕС, США и Японию.					

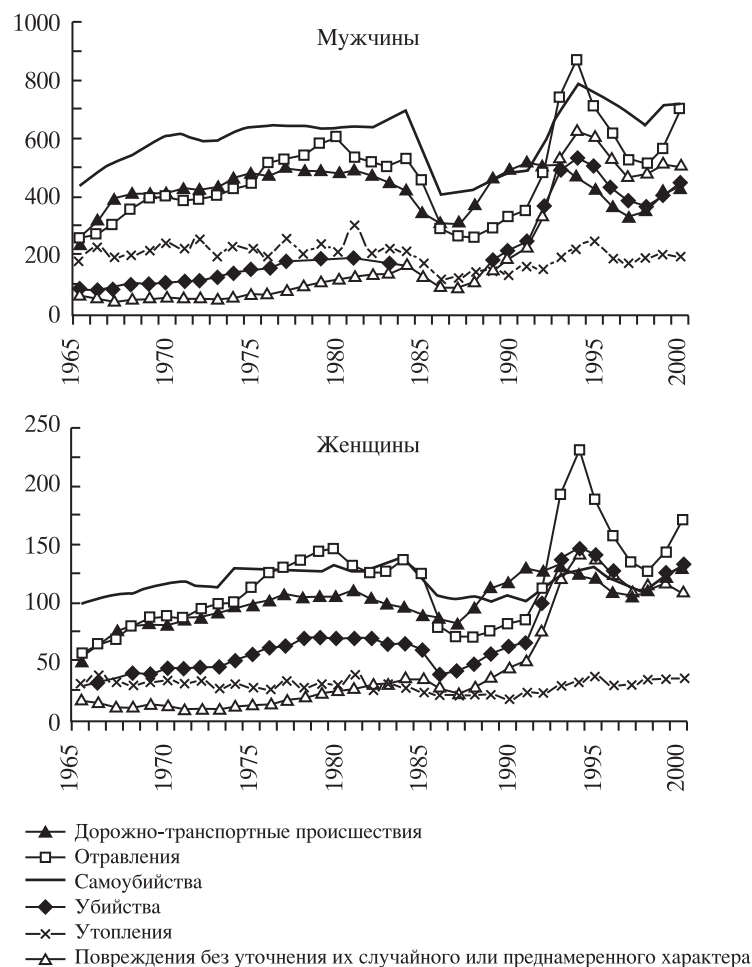


Рис. 3. Стандартизированный коэффициент смертности от различных видов внешней причин (на 1 млн человек). Россия, 1965–2000 гг.

при М.С. Горбачеве. Обращает на себя внимание синхронность долговременной динамики смертности от различных видов внешних причин (рис. 3), что говорит о преобладании не специфических, а общесоциальных детерминант экзогенной смертности, по крайней мере в России.

Огромная смертность от внешних причин и ее роковая роль как фактора “сверхсмертности” показывают, что и плохое здоровье и высокая смертность – прежде всего не медицинская, а более *общая социальная проблема*. Этот вывод не снимает ответственности с системы здравоохранения. Ее низкая эффективность – одна из главных причин неблагоприятных тенденций в состоянии здоровья населения в России. Уже несколько десятилетий показатели развития здравоохранения не коррелируют с показателями смертности и продолжительности жизни (рис. 4). Однако винить во всем только здравоохранение было бы неверно. Многие десятилетия оно жило на скудном ресурсном пайке, который не соответствовал требованиям времени. Затра-

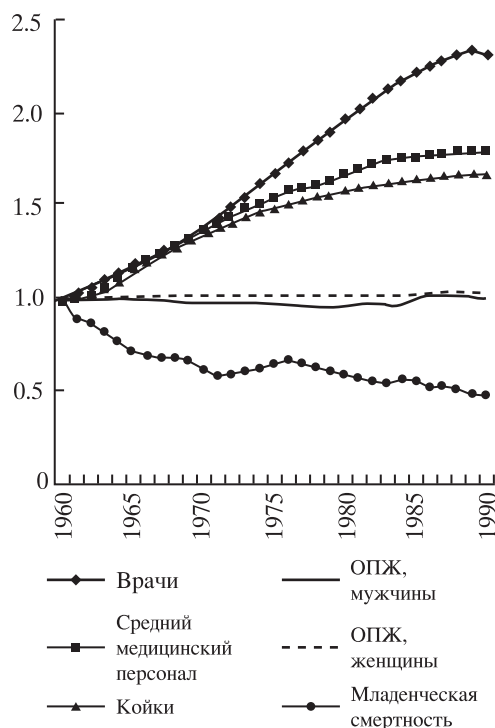


Рис. 4. Соотношение изменения числа больничных коек, численности врачей и медицинского персонала и динамики ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ) и младенческой смертности. Россия, 1960–2000 гг. (1960 = 1)

ты на охрану здоровья в советское время росли медленно. Между 1960 и 1990 гг. они увеличились в расчете на душу населения примерно в 5 раз, тогда как в США – почти в 20 раз, а во Франции и Японии почти в 40 раз.

Возможно, именно к этому периоду восходит возникновение противоречия между ориентацией на модернизацию системы охраны здоровья и жизни человека и традиционно низким местом ценностей здоровья и жизни на шкале социальных приоритетов. Указанное противоречие существует, оно недостаточно осознается, но должно быть преодолено.

В заключение выскажем некоторые рекомендации. Можно и нужно:

- осуществлять комплексные меры по *повышению ценности жизни человека* и его здоровья как главного приоритета общества и государства, наряду с задачами улучшения социальных условий;
- разработать и реализовать срочную программу по *снижению смертности от внешних причин*, включая меры борьбы с алкоголизмом путем восстановления государственной монополии на производство и продажу алкоголя, ограничения его продажи, усиления контроля и ответственности за его качество;
- проводить в жизнь просветительские, правовые и другие меры по *перенаправлению средств населения*, затрачиваемых на “целительство”, в пользу качественных медицинских услуг и оздоровительных практик;
- инициировать междисциплинарные *исследования феномена здоровья*, включая медицинскую антропологию и социальную психологию, с целью формирования позитивных жизненных установок;
- расширить изучение *адаптационных аспектов здоровья* – от типов жилища до этики экологоориентированного поведения;
- изучать *здоровье отдельных социальных групп и территориально-этнических сообществ*, прежде всего категорий населения и жителей регионов с неудовлетворительными показателями.

К последней группе следует отнести прежде всего малочисленные народы Севера, Сибири и Дальнего Востока, а также некоторые профессиональные сообщества, включая, кстати, самих ученых и медиков.

ДУХОВНОЕ ЗДОРОВЬЕ РОССИЙСКОГО ЧЕЛОВЕКА

Академик Н.П. Шмелев

Нынешний системный кризис, поразивший российское общество, не мог, конечно, не отразиться на духовно-нравственном состоянии страны. Потеря старых общественных ориентиров и неясность новых, распад столетиями строившегося единого государства, безжалостный характер проводимых радикальных реформ, разгул криминала и коррупции породили всеобщее замешательство и разброд, потерю чувства локтя, ощущение заброшенности и обманутости среди значительной, если не подавляющей, части населения России. Уставшее от крови и насилия, сопровождавших жизнь страны фактически на протяжении всего XX в., российское общество без особых сожалений рассталось с прошлым. Но, как оказалось, новые времена, приход демократии и рынка не сделали жизнь для “человека с улицы” ни легче, ни понятнее, ни безопаснее.

Не суждено было сбыться и надеждам на то, что с уходом в прошлое “холодной войны” мир вокруг станет иным, более спокойным и более желательным. Нарушение достигнутых ранее межгосударственных договоренностей, в частности относительно нерасширения НАТО на восток, варварские бомбардировки Югославии, безрассудная война в Ираке показали, что произвол и насилие, как и прежде, слишком многое определяют в мире. С другой стороны, участвовавшие атаки международного терроризма, недавние трагедии в Москве и Дагестане, Нью-Йорке, Индонезии, Израиле и в других местах заставляют простого человека все чаще и чаще с тревогой задумываться о том, какие новые угрозы ждут нас и наших детей и внуков в будущем.

Трудно (или даже вообще невозможно) выделить все хотя бы основные причины нынешнего духовно-нравственного кризиса. Думая о сегодняшнем дне, мы не должны забывать о многих идущих от века традициях русской великой, но противоречивой и кровавой истории. Как известно, еще А.С. Пушкин предупреждал: “Не приведи Бог видеть русский бунт, бессмысленный и беспощадный”. Те далеко не твердые нравственные скрепы, которые с огромным трудом удалось создать в дореволюционном российском обществе, в особенности после отмены крепостного права, были чуть ли не в одночасье разрушены революцией 1917 г. и вспыхнувшей за ней братоубийственной гражданской войной. Печально знаменитый лозунг “Грабь награбленное!” провозглашал свободу не только для абсолютного произвола власти. Он означал в то же время свободу для самых низменных инстинктов российского обывателя в преследовании своих интересов или даже просто в борьбе за выживание. Сыграла свою роль, несомненно, и азартная, исторически безответственная борьба новых властей с религией. Все моральные тормоза, которые церковь веками вращивала в человеке, оказались почти мгновенно не нужными обществу. “Народ-богоносец” с таким ожесточением крушил повсюду храмы и церкви, что нередко это вызывало изумление даже у тех, кто его к подобному варварству подстрекал.

Последовавшие затем годы разрушительной коллективизации, массовых голодовок, жесточайшего террора, многочисленных лагерей принудительного труда миллионов, лживой официальной трескотни и тотального контроля над повседневной жизнью всех и каждого еще больше заставляли обычного российского человека сжиматься, уходить в себя, прятаться как можно глубже от враждебной ему действительности. У людей оставалась лишь одна забота – самосохранение, для чего все средства были хороши. И даже взлет патриотических настроений в годы Великой Отечественной войны мало что изменил в этом отношении: во-первых, незаживающей раной на годы и поколения вперед остался вопрос, почему, по чьей вине за победу пришлось заплатить, как минимум, 27 миллионами жизней, а во-вторых, все надежды на лучшую, более свободную и более обеспеченную жизнь после войны очень скоро рассыпались в прах.

Основной же итог периода российской истории с 1917 по 1953 г. заключался, несомненно, в том, что лучшая и в умственном, и в нравственном, и даже в физическом отношении часть нации была по тем или иным причинам за эти годы уничтожена. Это, между прочим, дало некоторым нашим ученым основание утверждать, что этот генетический ущерб российское общество может восполнить не ранее, чем через пять поколений, то есть в лучшем случае к середине XXI в.

И хотя в те годы всякий уголовный элемент считался, как известно, “классово-ближким” (в отличие, скажем, от интеллигенции), все же без некоторых твердо обозначенных морально-нравственных ограничителей власть обойтись не могла, ибо одним лишь тотальным террором единство народа и страны обеспечить было просто физически невозможно. Моральные принципы, очень близкие по своему содержанию к традиционным христианским ценностям, официально провозглашались как основа общественной жизни (другой разговор, что это не мешало ни власти, ни обывателю нарушать их на каждом шагу, но предпочтительно не в открытую, а, так сказать, “втемную”). Нравственному здоровью общества в огромной степени содействовали и еще сохранившиеся традиции великой русской культуры, и гордость за победу в недавно окончившейся войне, и взлет науки, обеспечивший, в частности, Советскому Союзу военно-стратегический паритет с его соперниками, и размах народного образования, и деятельность значительной части творческой интеллигенции, где прямо, а где исподволь подталкивавшей россиянина к общепринятым общечеловеческим ценностям.

Иначе говоря, зло в обществе в определенной мере было придавлено всем укладом жизни. Но это не значит, что оно исчезло или было сильно ослаблено. Нет, оно сохранялось, накапливало силы и только, так сказать, затаилось до иных времен. Такие времена наступили, и общественное зло, копившееся в России на протяжении почти всего ушедшего века, на рубеже 90-х годов вырвалось из-под той административно-охранительной крышки, которая хоть как-то, но все-таки прикрывала этот бурливший изнутри котел. Бывший проклятием России XX в. принцип “цель оправдывает средства” получил не только всеобщее распространение, но был вновь (уже в других, так сказать, декорациях) легализован верховной властью и принят как руководство к действию в ее практическом управлении страной.

Можно, конечно, исповедуя известный толстовский принцип “нет в мире виноватых”, списать все на действие каких-то неподконтрольных нам, едва ли не потусторонних сил. Можно интерпретировать эти слова иначе: все, то есть каждый из нас, по-своему виноваты в том, что с нами произошло. И все же решусь утверждать, что первый и, возможно, главный адрес известен: самый мощный толчок духовно-нравственному обвалу последнего десятилетия XX в. был дан как раз оттуда, откуда его, казалось бы, меньше всего следовало ожидать – от самого российского государства.

Не думаю, что в нынешней духовно-нравственной дезориентации российского общества решающую роль сыграло выдвижение на первый план давно известных человечеству, но для нас все еще новых лозунгов типа “Обогащайтесь!”, “Кто не успел, тот опоздал”, “Каждый за себя, один Бог за всех” и т.п. В конце концов в результате десятилетий или даже столетий упорных, целенаправленных усилий цивилизованные страны смогли на подобной основе построить вполне жизнеспособное, эффективное и в высокой степени солидарное общество. Извечно присущие человеку инстинкты обогащения и накопительства там весьма строго ограничиваются детально разработанной системой социальных и юридических гарантий. Недаром сегодня в большинстве западных демократий определяющим становится принцип: “рыночной экономике – да, рыночному обществу – нет”. История, жизнь убедительно подтверждают, что демократия, рынок и социальная справедливость отнюдь не обязательно конфликтуют друг с другом. Вполне возможна и реальна если и не полная их гармония, то, по крайней мере, постоянно нарастающий процесс их взаимного сближения и приспособления, но следует подчеркнуть – при одном и неизменном условии: если игра ведется честно, если высокие нравственные принципы не только декларируются, но и последовательно проводятся в жизнь, если власть и общество испытывают хотя бы минимальную степень доверия друг к другу.

Как раз именно этого не было и нет в современной российской действительности. Верховная власть слишком часто за последние 10–12 лет беззастенчиво обманывала общество – и в политике, и в экономике, и в социально-культурной сфере. В политике первым нравственным шоком для граждан было откровенное и безоглядное пренебрежение мнением народа, когда спустя всего несколько месяцев после референдума весной 1991 г., в ходе которого большинство населения высказалось за сохранение единства страны, последовало трагическое (и отнюдь не обязательное) решение о развале единого государства, принятое в Беловежской Пуще. Другую незаживающую рану в народном сознании оставил октябрь 1993 г., когда политический конфликт между парламентом и президентом, в котором виноваты оказались обе стороны, был решен не цивилизованными методами, а насильственным путем. Столь же глубокую и открытую рану нанес чеченский конфликт (особенно первая его фаза). Тогда верховная власть не сумела найти ничего лучшего, как попытаться подавить вооруженной силой ею же самой созданный очаг сопротивления.

Особенно остро очевидный обман, нечестность новой власти российское общество ощутило в экономике и социально-культурной сфере. Тотальная

государственная конфискация всех сбережений населения в 1992 г.; практически дармовая приватизация общенародной собственности (небольшая и небогатая Боливия, например, получила за приватизацию государственных активов порядка 92–93 млрд долл., российская же казна – всего 9 млрд долл.); пресловутая афера с ваучерами; откровенное субсидирование из государственного бюджета разного рода бандитских и полубандитских банков, компаний и псевдообщественных организаций; беспрепятственное “бегство” многомиллиардных капиталов за рубеж; преднамеренная беспомощность власти в борьбе с коррупцией и криминалом, захлестнувшими страну; падение и многомесячные задержки зарплат, пенсий и пособий; невиданная нигде в цивилизованном мире социальная дифференциация и обнищание огромной части населения; наконец, крах гигантской государственной финансовой “пирамиды” и новая конфискация сбережений населения в 1998 г. – все это породило в стране всеобщее убеждение в том, что новая, теперь уже “демократическая”, власть, как и прежняя, советская, ведет с российским обществом игру без всяких правил и без каких-либо морально-нравственных тормозов.

Не менее болезненно (а с точки зрения дальнейших перспектив страны, может быть, даже и более) ощущает наше общество последствия политики в отношении того, что не косвенно, а напрямую определяет духовно-нравственное здоровье общества: образования, науки, здравоохранения, культуры. Такое чувство, что, расходуя сотни миллиардов долларов общественных средств в буквальном смысле слова “на ветер”, власть пыталась и все еще пытается компенсировать эти неоправданные и разрушительные для общества траты еще более разрушительной экономией, что называется, “на спичках”. При этом она не понимает или не желает понимать, что именно от этих достаточно скромных, по всем критериям, средств зависит будущее страны и ее место в меняющемся мире, в мировой конкурентной борьбе. Что лежит в основе подобной политики – невежество, зависть недоучек или известный циничный принцип “После нас хоть потоп” – однозначно сегодня ответить не сможет, наверное, никто.

Но было бы, конечно, несправедливо и необъективно возлагать всю ответственность за нынешний духовно-нравственный кризис только на верховную власть, на государство. Да, государство своими непродуманными шагами и “ломовыми”, насильственными действиями добилося того, что страна живет сегодня в “обществе недоверия”, а вся ее экономика – это прежде всего тоже “экономика недоверия”. Но столь же безответственно и аморально повели себя и многие влиятельные слои самого российского общества. Крупнейшие бизнесмены, которых, по выражению нашего президента, сама власть “назначила миллиардерами”, проявили невероятную алчность и бесцеремонность не только в одномоментном растаскивании национальных богатств, но даже и в повседневной деловой практике. Стойкое стремление работать не из общепринятых в мире 10–15% годовой прибыли, а из заоблачных 100–300% и более, пренебрежение правами акционеров и постоянные бандитские попытки захватить чужую собственность (включая метод искусственных банкротств), массовый увод своих доходов от налогов и перевод их за границу, хроническая необязательность в выполнении деловых контрактов и в погашении взятых кредитов, широчайшее использование корруп-

ции как главного средства обеспечения своих деловых интересов и многое, многое другое, столь же подрывающее моральный климат в стране, – все это характернейшие черты нынешнего этапа российского “первоначального накопления”.

Не менее вредоносным для нравственного состояния нашего общества оказалось поведение многих средств массовой информации, истолковавших свободу слова как свободу безудержной пропаганды насилия, крови, грязнейшего секса, откровенной уголовщины, “черных” политических технологий. К великому сожалению, далеко не на высоте оказалась и наша творческая интеллигенция, почти без сопротивления сдавшая свои традиционные гуманистические позиции перед натиском американизированной масс-культуры и всяческой “попсы”, столь успешно эксплуатирующей сегодня самые низменные, самые дикие инстинкты толпы, в особенности молодежи. Сама по себе интеллигенция разобщена, ее не слушают, и в значительной своей части она обществу оказалась не нужна.

Думаю, однако, – и не столько думаю, сколько верю – что нижнюю точку своего морально-нравственного падения российское общество прошло где-то вскоре после кризиса 1998 г. Трудно, конечно, указать на какие-то особо впечатляющие успехи, достигнутые с тех пор. Но одно, по крайней мере, очевидно: за последние три с лишним года российская власть не совершила ни одной непоправимой ошибки ни в политике, ни в экономике, ни в своих пока еще робких, но достаточно заметных усилиях как-то оздоровить морально-нравственную обстановку в стране. Наиболее обнадеживающим представляется сам общий умеренный подход нынешнего руководства к решению ключевых проблем страны.

Пагубным “нетерпением” назвал когда-то Ю. Трифонов извечную, можно даже сказать, наследственную болезнь всех поколений русских революционеров и реформаторов. Попытки разом, одним прыжком перескочить через все препятствия при переходе из одного общественного состояния в другое, выбросить на свалку из старого багажа не только действительно отжившее, но и то, что необходимо при любом разумном общественном обустройстве, пренебречь любой человеческой болью, какой бы массовой она ни была, ради выдуманных в кабинетной тиши теорий вновь, в который раз уже в нашей истории, доказали свою неэффективность и нежизненность. Необходимо ясно отдавать себе отчет, что Россия затеяла дело не на годы, не на десятилетия, а на поколения вперед. А нетерпение, торопливость, всякого рода мельтешение мешают большому делу, потому что никакого твердого и устойчивого позитивного результата от них, по всем законам мироустройства, ожидать нельзя.

Может ли наше общество преодолеть в конце концов нынешний духовно-нравственный кризис, может ли рядовой российский человек вновь ощутить под собой твердую нравственную почву, вернуть в свою жизнь те идеалы и ценности, которыми веками руководствовались многие поколения россиян? Убежден: может.

Вопреки распространенным не только на Западе, но, к сожалению, и у нас в стране настроениям, российский человек в массе своей ничем не хуже, не глупее и не ленивее никого другого в мире. Это однозначно доказывается, например, той высокой оценкой, которую заслужили за рубе-

жом все поколения российских эмигрантов, покинувших страну в XX в.: более надежных, трудолюбивых, законопослушных и высоконравственных граждан в принявших их странах трудно сегодня, наверное, и найти. И, как свидетельствует история, россияне отнюдь не более буйные и склонные к насилию, чем другие народы. Не следует забывать, что свои периоды повального национального сумасшествия знали в XX в. не только мы. Достаточно сослаться на такие ныне высокочивилизованные страны, как, например, Германия, Италия, Испания, Португалия, Венгрия, Япония и ряд других. И на личностном, и на общественном уровне вопрос, следовательно, не в каких-то особых, свойственных только нам пороках, а в тех конкретных условиях, в которых мы вынуждены были жить и в которых живем сегодня.

Не только в географическом, но и в цивилизационном отношении Россия – неотъемлемая, органичная часть Европы. Нет и не может быть Европы без России, равно как и России без Европы. Различие преимущественно в том, что те основные общецивилизационные задачи, которые Европа так или иначе уже решила к настоящему времени, нам еще предстоит решить. Речь идет прежде всего о создании демократического, правового государства, о строительстве высокоэффективной рыночной экономики, об обеспечении достойного уровня жизни и надежных социальных гарантий, о рациональном освоении природных богатств и охране окружающей среды. Сложнее обстоит дело с духовно-нравственным состоянием общества. У европейского (а точнее, евроатлантического) сообщества проблем в этой области сегодня вряд ли меньше, чем у нас, особенно если учесть не только существующие, но еще более и проецируемые в будущее угрозы: терроризм, этнонациональные и религиозные конфликты, наркоманию, преступность, массовое одичание толпы. Но это лишь подчеркивает, что у российского человека нет иной дороги, как следовать по пути той цивилизации, к которой он, по праву своего рождения, принадлежит с незапамятных времен – со всеми достижениями этой цивилизации, но и со всеми ее опасностями и печальми.

В деле духовно-нравственного возрождения страны нет и не может быть какого-то одного-единственного чудодейственного средства, стратегического решения или спасительного мероприятия. И желаемого результата, несомненно, нельзя добиться без веры в человека, без стойкого оптимизма в отношении будущего человечества. Зло всегда было и будет в мире, причем более или менее в одном и том же соотношении, независимо от исторического времени. С этим люди всегда жили, и с этим им придется жить и дальше. Весь вопрос в том, удастся ли обществу и впредь держать это зло более или менее под контролем, и, может быть, опережать злонамерения и препятствовать злодеяниям. В той мере, в какой современный человек в мире вообще нравственно здоров, в той же мере здоровы и мы, граждане своей страны. Российский человек в основе своей так же отзывчив на добро, так же привержен к высоким нравственным идеалам, как и люди повсюду в мире.

Но можно ли ожидать от человека каких-то духовных устремлений и высокой нравственности, если он и его семья прозябают в самой беспросветной нищете, а таких в России сегодня, по некоторым оценкам, около

40% населения? Если число бездомных, опустившихся людей, беспризорных детей, брошенных на произвол судьбы стариков и инвалидов исчисляется в стране многими миллионами? Если пустеют целые регионы, области, города, села, а население, попросту говоря, вымирает? И можно ли предъявлять человеку высокие духовно-нравственные требования, если в повседневной жизни его окружают повальная коррупция власть имущих, засилие криминала, безнаказанные убийства и массовое воровство, беспардонная алчность и выставаемая напоказ наглая роскошь всякого рода мошенников-“скоробогатеев”? Если человек, многократно оплативший за свою трудовую жизнь любую мыслимую систему социального обеспечения для себя и своей семьи (поскольку ему всегда платили и продолжают платить меньше, чем рабу в Древнем Риме), вдруг лишился и мало-мальски достойной пенсии, и надежной медицинской помощи, а вот-вот лишится и доступных ему по цене жилищно-коммунальных услуг? Если он не доверяет уже больше никому – ни государству, не раз обобравшему его до нитки, ни банку, где сгорели его последние сбережения, ни работодателю, месяцами не выплачивающему ему зарплату, ни улице, где он давно уже перестал чувствовать себя в безопасности, – одним словом, не доверяет больше жизни вообще? И на какое духовно-нравственное здоровье общества мы можем рассчитывать, если то ли просто по недомыслию, то ли вполне сознательно и целенаправленно наши газеты, радио, телевидение, массовая литература, кино, шоу-бизнес и пр. продолжают сегодня столь усердно оглуплять и растлевать “человека с улицы”, нимало не заботясь, в своей бездумной погоне за деньгами и рейтингами, о грозящих разрушительных последствиях этого методичного превращения человека в зверя? А если, не дай Бог, зверь этот когда-нибудь проснется? Мы, к сожалению, это уже проходили в нашей истории, и не раз.

Духовно-нравственные проблемы страны неотделимы, таким образом, от способности нового, демократического, рыночного и солидарного российского общества преодолеть нынешнее неблагополучие, шаткое его состояние практически во всех областях жизни. Нет смысла выяснять, что первопричина – разруха в головах или разруха в самой жизни: они взаимосвязаны и взаимообусловлены. Но ясно, по крайней мере, одно: если нам суждено иметь когда-нибудь действительно нравственно здоровое общество, то иметь мы его будем не раньше, чем сумеем удовлетворить и надежно защитить базовые потребности человека. А это прежде всего свобода, права личности, безопасность, достойный уровень жизни, социальная защищенность, возможность беспрепятственного развития всех творческих сил и способностей человека.

Когда это случится? Вряд ли кто возьмется сегодня ответить на этот вопрос что-то определенное. Во всяком случае, не будет ничего удивительного, если при жизни нынешнего поколения (или даже поколений) результаты наших усилий будут достаточно скромны. Но важно то, что основное русло дальнейшего движения России вперед, по-видимому, уже определилось, и отдельные возможные колебания вряд ли могут серьезно изменить направление общенационального вектора. Не политические авантюры и не идеологические химеры, а созидание, строительство, обустройство жизни огромной и пока еще плохо освоенной страны, сохранение и благополучие

ее народа, всестороннее развитие его творческого потенциала – думается, в этом и состоит сегодня та объединяющая конструктивная национальная идея, в которую могут поверить граждане России (если, конечно, их в очередной раз не обманут). Все другие так называемые “великие” идеи мы уже в своей истории не раз пробовали, и ничего доброго они нам не принесли.

Конечно, все подобные рассуждения окажутся бессмысленными, если мир ожидает впереди какая-то вселенская катастрофа, вроде “столкновения цивилизаций” или чего-то похожего. Но если исключить такую вероятность, то пути всестороннего, в том числе и духовно-нравственного, выздоровления российского общества с достаточной степенью очевидности просматриваются уже сейчас.

России предстоит изживать и когда-нибудь, надеюсь, изжить два существеннейших национальных недостатка, во многом определивших ее нелегкую историю: традиционное неуважение к личности, к отдельной человеческой жизни, и столь же традиционное неуважение к собственности. Без воспитания в людях и во всем обществе стойкой приверженности основополагающим принципам уважения к личности и личной собственности трудно рассчитывать, что любые другие гражданские добродетели – совесть, законопослушание, милосердие, сострадание к ближнему, забота сильных о слабых, истинный патриотизм (любовь не только к березкам, но прежде всего к людям, живущим среди этих березок) – смогут пустить в российской действительности достаточно глубокие корни. Такие принципы – отнюдь не теория, не романтические мечтания каких-то оторванных от реальной жизни мыслителей, а самая практичная практика жизни там, где человеческое сообщество уже смогло добиться какого-то ощутимого успеха.

Кажется, сегодня уже нет каких-либо серьезных оснований думать, что в видимой перспективе Россия может свернуть с выбранной ею дороги к подлинной демократии и строительству дееспособного гражданского общества. Диктатура закона, совершенствование парламентаризма, федерализм, многопартийность, всемерное развитие местного самоуправления (одной этой задачи, между прочим, хватит на десятилетия, если не на поколения вперед), сильная правоохранительная система, укрепление уникальнейшего российского исторического наследия – многовекового мирного и взаимообогащающего общежития различных этносов, национальностей и конфессий, постепенный переход разнообразных сфер жизнедеятельности от государства в компетенцию самостоятельного гражданского общества – нет никаких непреодолимых, объективных препятствий на этом пути, который многие уже проходили.

Убежден, что нет никаких непреодолимых препятствий и для создания в России высокоэффективной экономики. Сегодня первоочередными задачами в этой области представляются, во-первых, восстановление пока еще безнадежно подорванного доверия населения к государству, институту собственности, кредитно-банковской системе, национальным деньгам (принятый только что закон о гарантиях вкладов – несомненно, правильный шаг); во-вторых, прекращение искусственного “экономического кровотечения” последних лет, обескровившего страну и государственный бюджет, –

дармовой приватизации, передачи традиционных рентных и акцизных доходов легальному и нелегальному частному сектору, массового “бегства” капиталов за рубеж. В-третьих, необходимо создать благоприятные условия для истинной, законной частной инициативы, в первую очередь для малого и среднего бизнеса. В-четвертых, нужно продолжать осторожное, дозированное открытие российской экономики для иностранной конкуренции и иностранного капитала. В-пятых, государство и общество не на словах, а на деле должны повернуться к науке, образованию, здравоохранению, культуре как к высшим национальным приоритетам, от которых зависит будущее страны.

В пределах жизни одного поколения возможно и решение наших самых жгучих социальных проблем. Среди них прежде всего недопустимо низкий уровень зарплат и пенсий, опасно высокий разрыв в доходах между “верхами” и “низами” общества, поиски приемлемого компромисса между коммерческим и некоммерческим подходами в социальном обеспечении населения.

Гораздо более неопределенны, думается, перспективы устранения из нашей жизни всего, что не может нравиться ни одному духовно здоровому человеку, но что так привлекает у нас толпу. Какие средства есть у общества, чтобы остановить, загнать в приемлемые рамки весь этот мутный поток бездуховной, безнравственной масс-культуры, захлестнувшей сегодня умы и сердца людей? Цензура, запреты, “намордник” на тех, кто, прикрываясь святым лозунгом свободы слова, ведет сегодня свою разрушительную работу? Опасное, обоюдоострое, надо сказать, оружие. И все-таки при сохранении определенного чувства меры это, может быть, тоже метод. Общество не должно и дальше оставаться равнодушным к тому, как психология всякого рода криминальных “отморозков”, насилие, алчность, разврат и нравственная слепота продолжают размывать его традиционные устои. Могли бы помочь делу и такие целенаправленные действия со стороны государства, как политическая, а главное – материальная, налоговая поддержка общественной благотворительности и разнообразных проявлений милосердия; создание мощного государственного или общественно-телевизионного канала (каналов) без рекламы и иного коммерческого идиотизма; поддержка издательств, выпускающих классическую литературу, а также библиотек, музеев, театров, стадионов, концертной деятельности и т.д.

Трудно представить себе духовное возрождение страны без укрепления семьи, ее традиционных ценностей, без всесторонней охраны материнства и детства. Важнейшее значение имеет повышение престижа, материального и нравственного уровня нашего учительства и школы вообще. Наконец, огромная нравственная нагрузка ложится на наши правоохранительные органы и медицину: они, как подтверждает опыт Запада, остаются почти единственным действенным средством в борьбе, которую общество ведет с такой, например, относительно новой угрозой, как массовая наркомания.

И все же неуверенность в конечном успехе любых организованных усилий в борьбе со всеми видами зла, характерными для нашего времени, остается. Можно понять тех, кто утверждает: что-то новое, неясное и пугающее происходит с людьми в XXI в. Но, может быть, новое – это

лишь новое по форме, то есть хорошо забытое старое? Можно, например, вспомнить, как лет 50 назад многие в мире со страхом взирали на Скандинавские страны, сознательно давшие тогда ход так называемой, “секс-революции”. Ну и что? В пределах одного поколения все эти якобы новые формы нравственной распущенности, выпустив накопившийся пар, опять заняли подобающее им маргинальное место в общественной жизни. А нравственный климат там как стоял, так и остался стоять на тех же основах, которые закладывались до того долгими веками. Как говорится, перемелется – мука будет. Так что вопрос о грядущем нравственном состоянии российского общества – это тоже, скорее, вопрос не столько логики, сколько веры в человека: что в конечном счете сильнее в нем – доброе начало или зло?

Именно под подобным углом зрения хотелось бы указать и еще на одну проблему, постепенно, конечно, теряющую свою остроту, но все же остающуюся пока актуальной: конфликт между наукой и религией. Он оказался в высшей степени неплодотворным: ни та, ни другая сторона не смогли и, смею сказать, никогда не смогут доказать свою безусловную правоту. Очевидно в то же время, что в деле духовно-нравственного возрождения, облагораживания российского человека наука и религия, не мешая, а, наоборот, дополняя друг друга, могут и должны сыграть самую активную, возможно, даже решающую роль. И наукой, и религией (по крайней мере, во всех ее основных ответвлениях) движут идеалы добра, познания, человеколюбия и стремления как-то примирить человека с самим собой и с окружающим миром. Непрерывный рост позитивного естественно-научного и гуманитарного знания, просвещение в традиционном значении этого слова всегда имели своим результатом ослабление звериных инстинктов в человеке. Точно такую же роль в отношении отдельной личности играла и играет религия. Вера в Бога, в свою конечную ответственность перед ним испокон веков служили мощным моральным стимулом и одновременно тормозом для человека. И очень хорошо, что наше государство, осознав наконец свою недавнюю крупнейшую историческую ошибку, вновь перешло от вражды к благожелательному отношению к религии, к многомиллионным массам верующих.

Предпринятая здесь попытка увязать в один узел самые различные сферы нашей жизни, от которых и прямо, и косвенно зависят духовно-нравственное состояние российского общества и надежды на его выздоровление в более или менее предсказуемом будущем, встретит, видимо, понимание далеко не у всех. И первые возражения можно ожидать, наверное, по традиционной для нас линии рассуждений об уникальности и неповторимости России, о ее самобытности и “евразийстве”, о приоритете духовно-нравственных исканий для российского общества и российского человека на всех этапах нашего исторического развития. За подобным взглядом на вещи стоят, как известно, и наша многовековая традиция, и наши великие имена: протопоп Аввакум, Ф.И. Тютчев, Л.Н. Толстой, Ф.М. Достоевский, Н.С. Лесков и многие, многие другие, вплоть до А.И. Солженицына. И все же позволю себе сказать, что самобытность и наше так называемое “евразийство” – это вряд ли то, что будет определять в будущем духовно-нравственное развитие России. В конце концов все в мире самобытно, и, скажем,

крошечное княжество Лихтенштейн в своем роде никак не менее самобытно, чем огромная Россия. И наша двойственная, “евразийская” культура тоже отнюдь не является чем-то уникальным в мире: достаточно сослаться, например, на исторический опыт Балкан или на вызревающее сегодня на наших глазах многонациональное и многоконфессиональное общество в таких продвинутых европейских странах, как Франция, Германия, Англия и ряд других.

Проблема, на мой взгляд, не столько в самобытности и “евразийстве” России, сколько в том, как сохранить и укрепить в нашем обществе общечеловеческие, общепринятые в цивилизованном мире духовно-нравственные ценности, ни в коей мере не пренебрегая при этом той многонациональной и многоконфессиональной спецификой, которую оставила нам в наследство наша история. Иными словами, правду, истину, совесть можно и должно искать не вопреки всему человечеству, а вместе с ним.

Суждено России вновь, не в первый уже раз, подняться с колен, преодолеть и нынешнюю “великую смуту” – благотворные духовно-нравственные поиски российского человека будут продолжаться и дальше, ибо они по природе своей бесконечны. Но надрыв, растерянность, озлобленность, вражда к миру и к себе подобным вновь отойдут тогда на задний план, уступив первенство тем созидательным, нравственно здоровым стремлениям, которые от века присущи человеку именно потому, что он не зверь, а Человек.

ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ВОСПИТАНИЕ И ЖИЗНЕННАЯ СРЕДА ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

*Академик Российской академии художеств
Д.О. Швидковский*

Среди многочисленных глобальных изменений последнего времени мы оказываемся свидетелями еще одной кардинальной перемены окружающей среды – утраты зримой красоты нашего мира. Это происходит повсеместно, в каждой стране. Особенно остро мы воспринимаем подобные факты в отношении природного ландшафта и облика исторических городов России.

Стало повседневным явлением исчезновение во многих ее регионах традиционной застройки столетней давности, которые отличаются богатыми художественными достоинствами. Приходится уже говорить о гибели деревянных крестьянских домов и церквей русского Севера, вместе с наполнявшим их творчески осмысленным “миром” народного искусства. Даже из числа знаменитых ансамблей деревянного зодчества, зафиксированных историками вскоре после войны, до сегодняшнего дня сохранилось менее десятой части. Церкви в Кижях, несмотря на бесконечные споры о лучшем способе их реставрации, оказались сегодня в состоянии, выходом из которого скоро станет замена подлинных храмов “новоделами”. В отношении

старинной жилой застройки городов Центральной России цифры утрат еще выше.

В результате сегодня уже ставится под сомнение все то, за что Академия художеств боролась на протяжении двух с половиной столетий. А она стремилась к тому, чтобы воспитать поколения мастеров изобразительного искусства и архитекторов, способных сохранить своеобразную красоту природы и поселений России, этнографическое и художественное наследие, особенности каждого ее края, добиться высокого развития искусства во всех регионах страны.

Российская (ранее – Императорская) академия художеств – старейшее государственное художественное учреждение в России. Петр Великий повелел в 1724 г. создать единую Академию наук и художеств. Мы гордимся тем, что Академия художеств начала свое развитие вместе с РАН и плодотворно сотрудничает с ней и сегодня. В 1757 г. наша академия по инициативе И.И. Шувалова была преобразована императрицей Елизаветой Петровной в самостоятельную Императорскую академию художеств. Тогда же в составе академии возник первый в России художественный музей, собрания которого послужили впоследствии основаниями коллекций Эрмитажа и Русского музея, и которые насчитывают сегодня более 100 тысяч произведений отечественного и зарубежного искусства XVII–XX вв.

Екатерина II, следуя предначертаниям Петра Великого, обозначила новые направления работы академии в дарованном ею уставе как “живопись, скульптура, архитектура, воспитание”. В течение трех столетий деятельность Академии художеств определяла развитие русского изобразительного искусства и архитектуры. Не меньшее значение она имела и для отечественного искусства XX в., явившись средоточием его традиций и центром воспитания многих поколений замечательных художников.

Сегодня Российская академия художеств объединяет все лучшие творческие силы России. Среди академиков, членов-корреспондентов и почетных членов находятся выдающиеся мастера, художники, искусствоведы, архитекторы и дизайнеры, представляющие все без исключения направления современного российского искусства. В ее структуру в соответствии с “Законом о науке и государственной научно-технической политике” входят Отделения по различным видам искусства – живописи, скульптуры, графики, театрально-декорационного искусства, декоративно-прикладного искусства, дизайна, архитектуры, искусствоведения и художественной критики. Региональные отделения существуют сейчас в Санкт-Петербурге, Поволжье, на Урале, Дальнем Востоке, в Сибири. К числу учреждений академии относятся Московский государственный академический художественный институт им. В.И. Сурикова, Санкт-Петербургский государственный академический институт живописи, скульптуры и архитектуры им. И.Е. Репина, Московский академический художественный лицей, Санкт-Петербургский академический художественный лицей, Учебно-производственный комплекс “Литейный двор” (Санкт-Петербург), Научно-исследовательский институт истории и теории изобразительных искусств (Москва). Плодотворно работает сеть академических творческих мастерских во многих городах России. Здесь повышают квалификацию представители различных специальностей.

Ряд экспериментальных центров и лабораторий в Санкт-Петербурге и Москве разрабатывают новые и восстанавливают утраченные художественные технологии. Научные учреждения академии, работая в тесном контакте с учреждениями РАН, публикуют каждый год сотни печатных работ в России и за рубежом.

Академия художеств обладает уникальной, исторически сложившейся системой музеев и библиотек. Это прежде всего Научно-исследовательский музей (Санкт-Петербург) с филиалами и научными отделами: мемориальный музей И.Е. Репина “Пенаты”, мемориальные музеи И.И. Бродского, П.П. Чистякова, А.И. Куинджи (Санкт-Петербург), С.Т. Коненкова (Москва), Научная библиотека, не имеющая себе равной в Европе по собранию уникальных книг прошедших веков по искусству.

Однако, несмотря на активную работу, положение дел в изобразительном искусстве нельзя назвать благополучным. Достаточно вспомнить о том, что не только молодые ученые, но и молодые художники уезжают из России. И это понятно: они не могут найти достойного места в отечественном искусстве. Академия художеств пытается противостоять этой тенденции. В последнее время под ее эгидой был создан первый в России Московский музей современного искусства и музейно-выставочный комплекс “Галерея искусств” (Москва). Ведется работа по созданию музея современного искусства в Санкт-Петербурге. Готовится открытие филиалов российских музеев во Франции, Грузии, США. Уже подготовлен контракт для создания музейно-выставочного центра в Нью-Йорке, задачей которого станет широкая пропаганда российского искусства.

Активные действия требуются еще и потому, что изменения в изобразительном искусстве, произошедшие на рубеже тысячелетий, весьма радикальны. Еще никогда не достигало такой остроты противопоставление норм классического искусства и ничем не ограниченной свободы творческого самовыражения. Сохраняются ли связи между академическим искусством и самыми современными формами художественного творчества вообще? Очень многие сегодня отвечают на такой вопрос отрицательно, ставя под сомнение и систему художественного образования, и наследие классического искусства вообще.

Как ни удивительно, но все чаще приходится слышать, что мастеру изобразительного искусства образование вовсе не нужно и что художник должен “создать себя сам”. Только тогда он якобы окажется способным к истинно новому творчеству. Затем его стихийным образом должен, в соответствии с подобными взглядами, “оценить” рынок произведений искусства, а если “оценка” окажется низкой, то автоматически исключить его из художественной жизни. В подобном представлении о становлении художника заключено и анекдотическое непонимание значения художественной школы, и преувеличение роли коммерческой моды в искусстве.

Подобная позиция, как может показаться на первый взгляд, отнюдь не связана с авангардом. Она резко отличается от обихода великих авангардистов XX в., пришедших к небывалым формам искусства, владея в совершенстве реалистическим методом передачи зримых образов. Достаточно вспомнить, например, рисунки Пикассо или Малевича. Мастера “классического” авангарда прошлого столетия умели делать то, что отрицали, и за-

частую – лучше адептов самого строгого реализма. Даже тогда, когда разгорался радикальный авангард 1920–1930-х годов, различие между старым и новым в изобразительном искусстве не было столь значительным, как в наши дни.

Сегодня и изобразительное искусство, и архитектура в равной степени находятся на перепутье. Это рождает болезненное чувство неуверенности в том, как должна выглядеть жизненная среда современного человека. Мы можем рассчитать ее технические параметры с точки зрения многих наук. И способны найти экологическую модель, которую хотелось бы или было бы необходимо использовать. Как же быть с эстетическими свойствами жизненной среды? Мне кажется, что и в художественной области нужен строгий научный расчет параметров среды, которую будет создавать человек.

Сохранение и воспроизводство утраченной красоты жизненной среды человечества – именно та задача, где специалисты точных наук и наук о человеке могут сотрудничать с мастерами искусств, художниками и архитекторами. В этом деле причудливо переплетаются методы и сведения различных областей знания и может поистине осуществиться “великая утопия” соединения точного и художественного, интуитивного мышления.

Однако сегодня кажется даже неловким, невозможно устаревшим для художника передавать обыкновенные пропорции или похожий на натуру облик человеческого тела. Вроде бы, мы должны забыть или оставить истории все подобные примеры, “утомившие” современного человека в произведениях классической скульптуры или живописи. Если поступить так, то действительно академическое художественное образование утратит значительную часть своего смысла.

Основа художественного воспитания тех, кто будет преобразовывать дальше жизненную среду человечества, – уважение к традициям в самом широком смысле слова. Это включает не только памятники древнего искусства, не только старые церкви и парки, но и природу нашего мира, традиции его экологического равновесия, устойчивость этнографических форм жизни, искусства и осмысления окружающего пространства, характерные для отдельных народов. Мы обязаны сохранить все разнообразие окружающего нас мира и в культурном, и в природном отношениях.

Российская академия художеств на протяжении своей 250-летней истории осуществляла художественные связи между центром и регионами. Благодаря ее деятельности государственная политика в области искусства была эффективна в различных частях России. Это касалось воспитания художников, создания местных очагов культуры, развития архитектурных и монументальных ансамблей.

В настоящее время академия столь же активна в Поволжье (открытие Поволжского отделения академии, создание Академии рисования в Саратове, подготовка к открытию художественного института в Казани), на Урале (открытие ее Уральского центра и его научных учреждений). Также успешно работают подразделения академии в Сибири и на Дальнем Востоке. Во многих городах России работают творческие мастерские академии, возглавляемые ее членами, где происходит повышение квалификации местных художников. Однако, к сожалению, она испытывает острый дефицит квалифицированных

кадров, которые могли бы направлять и осуществлять работу, которая ведется в регионах.

Уважение к традициям может быть привито лишь последовательным их изучением, постепенным овладением видением формы, чувством пластики, ощущением ритмов, заключенных в человеческом теле и природном пейзаже, параллельным с подробным знакомством с художественным развитием, всеми экспериментами, которые уже предпринимали люди, стремясь создать отвечающее их чувствам и времени искусство. Собственно, именно это и делает академическая художественная школа на протяжении последних столетий. В России со времени Екатерины II Российская академия художеств самым решительным образом настаивает на сохранении системы классического художественного образования. Тем более что, несмотря на все события XX в., а отчасти и благодаря им, именно в России эта система выжила в лучшей и более полной форме, чем во всех остальных странах мира.

Но мы не собираемся снова воздвигать преграды на пути новаторских поисков. Совсем напротив. Президент Российской академии художеств З.К. Церетели осуществляет обширную программу “Возвращенные шедевры”, в ходе которой приобретаются и поступают в музеи, находящиеся под эгидой академии, выдающиеся произведения российского изобразительного искусства эпохи стиля модерн и времени авангарда. А буквально сейчас завершается создание еще одного музейно-выставочного академического комплекса в Москве, предназначенного для молодых художников наступившего XXI в. Он начнет широкую работу после того, как появятся новые талантливые российские художники.

Все, как кажется, позволяет надеяться на то, что искусство, развитие которого мы еще сможем увидеть, будет основано на комплексном понимании человека, его жизненной среды и истории. Развитию этого процесса поможет взаимодействие российских академий, которому будет способствовать данное Общее собрание.

**ПОСТАНОВЛЕНИЕ СЕССИИ
СОВМЕСТНОГО ОБЩЕГО СОБРАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
И РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ МЕДИЦИНСКИХ НАУК
“НАУКА – ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА”**

18 декабря 2003 г.

Сессия Общего собрания Российской академии наук и Российской академии медицинских наук с участием Российской академии сельскохозяйственных наук и Российской академии художеств, обсудив одну из важнейших государственных социально значимых проблем “Наука – здоровью человека”, отмечает, что в настоящее время в академических институтах, высших учебных заведениях проводится заметная положительная работа

по использованию результатов фундаментальных и прикладных исследований для укрепления здоровья народа и целей практического здравоохранения.

Вместе с тем современные достижения отечественной и мировой науки, которые являются основой создания новых медицинских технологий в области диагностики, лечения и профилактики, включая проблемы питания, создания лекарственных средств, медицинской техники и изделий медицинского назначения, в силу разных причин в нашей стране длительное время не востребованы, что неблагоприятно сказывается на решении важнейших задач охраны здоровья населения и преодоления неблагоприятной демографической обстановки.

Общее собрание считает, что для преодоления угрозы демографического упадка, для снижения уровня общей заболеваемости граждан (ее рост – на 31.2% по сравнению с 1992 г.) требуется скоординированная целенаправленная государственная поддержка фундаментальных исследований, теоретических и опытно-конструкторских разработок в интересах укрепления здоровья населения России.

Сессия и развернутая выставка медицинских приборов для диагностики и терапии, разработанных в институтах РАН и РАМН, продемонстрировала не только успехи отечественной науки и приборостроения в создании уникальных методов и аппаратов, но и особое внимание к этим работам в научных учреждениях, в том числе к работам по направленному синтезу фармакологически активных веществ.

Задача сегодня – всячески развивать и поддерживать эти направления исследований, а для тех методов и приборов, которые доказали свою клиническую ценность, – привлекать государственные, региональные и частные источники финансирования для расширения этих исследований и использования завершенных работ в практике.

Особого внимания требует обеспечение биобезопасности населения и страны в целом в связи с резко возросшей угрозой биотерроризма. Всемерная поддержка государством высокого уровня фундаментальной генетики и молекулярной биологии – один из ключевых моментов в минимизации биологических рисков.

Успехи в расшифровке молекулярных механизмов развития ряда заболеваний, прежде всего онкологических, должны быть использованы для ранней диагностики и специфической терапии социально значимых болезней.

Важными направлениями исследований следует считать изучение механизмов регуляции и управления функциями организма в норме и при патологии, а также вопросы воздействия человека на окружающую среду и влияния измененной среды на здоровье человека.

Участники сессии отмечают исключительно важную роль духовного здоровья человека, нравственного и эстетического воспитания и образования, что составляет неотъемлемую часть “культурной экологии”, естественным образом дополняющей заботу о физическом здоровье народа.

Руководствуясь “Основами политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу”, а также исходя из обсуждения результатов фундаментальных и прикладных исследований, состоявшегося на настоящей сессии, Общее собрание Российской академии наук и Российской академии медицинских наук ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Считая интеграцию фундаментальной науки и медицины важнейшим фактором прогресса, Президиуму Российской академии наук и Президиуму Российской академии медицинских наук организовать подготовку Федеральной целевой программы по фундаментальным проблемам медицины, основной целью которой является решение проблем профилактики, диагностики, лечения социально значимых заболеваний, создание современных лекарственных препаратов, передовых образцов медицинских приборов и техники, внедрение их в клиническую практику, обеспечение биобезопасности страны и безопасности окружающей среды. Представить в 2004 году программу на рассмотрение Правительства Российской Федерации.

2. Считать целесообразным создание Межведомственного совета РАН и РАМН по фундаментальным проблемам медицины для лучшей координации научных исследований в институтах обеих академий.

3. Президиуму Российской академии наук и Президиуму Российской академии медицинских наук проработать вопрос о создании фонда “Наука – здоровью человека” и подготовить предложения об источниках его финансового наполнения.

4. Поручить Президиуму Российской академии наук и Президиуму Российской академии медицинских наук с привлечением других академий, имеющих государственный статус, организацию и проведение на постоянной основе специализированных совместных научных сессий по наиболее актуальным проблемам науки.

5. Президиуму Российской академии медицинских наук совместно с Фармакологическим комитетом Министерства здравоохранения Российской Федерации подготовить предложения по гармонизации законодательства и нормативного регулирования в сфере обращения лекарственных средств в России и странах Европейского сообщества.

6. Считать целесообразным от имени Общего собрания обратиться в Государственную думу Федерального собрания Российской Федерации с предложением принять законодательные меры по недопущению пропаганды в СМИ научно необоснованных и недоброкачественных медицинских приборов и лекарств.

7. Поручить Научно-издательскому совету РАН и Редакционно-издательскому совету РАМН подготовить к публикации в виде отдельной книги материалы настоящей сессии Общего собрания Российской академии наук и Российской академии медицинских наук, а Академиздатцентру “Наука” РАН издать ее широким тиражом.

8. Президиуму Российской академии наук и Президиуму Российской академии медицинских наук разработать План мероприятий по выполне-

нию постановления настоящей сессии совместного Общего собрания с учетом предложений, высказанных в ходе дискуссий на заседаниях “круглых столов”.

9. Просить Президента Российской Федерации В.В. Путина взять проблему здоровья населения под личный контроль.

*Президент Российской академии наук
академик Ю.С. ОСИПОВ*

*Президент Российской академии медицинских наук
академик РАМН В.И. ПОКРОВСКИЙ*

*Главный ученый секретарь Президиума Российской академии наук
академик В.В. КОСТЮК*

*Главный ученый секретарь Президиума Российской академии
медицинских наук академик РАМН
В.А. ТУТЕЛЬЯН*

**СОВМЕСТНАЯ НАУЧНАЯ СЕССИЯ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РАН
И УЧЕНОГО СОВЕТА
МГУ им. М.В. ЛОМОНОСОВА,
ПОСВЯЩЕННАЯ 250-летию
МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

14–15 декабря 2004 года

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА Ю.С. ОСИПОВА

Думаю, что многие из присутствующих, особенно члены Академии наук, испытывают волнение, поскольку мы вернулись в родные стены, родной зал. Дорогие коллеги!

Позвольте мне открыть совместную научную сессию Общего собрания Российской академии наук и Ученого совета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Наша сессия посвящена 250-летию Московского университета – событию, значение которого выходит далеко за рамки юбилея выдающегося учебного заведения. Роль Московского университета в служении Отечеству, в развитии образования, науки, культуры в стране, в деле просвещения народа невозможно переоценить.

Мне особенно хотелось бы сказать о деятельности университета в очень трудные 90-е годы прошедшего столетия. Эта деятельность еще раз показала жизнеспособность положенных в основу Московского университета идей и традиций, доказала, что усилия многих поколений наших предшественников и тех, кто в эти трудные годы служил университету, оберегал его, укреплял и развивал, были ненарасны. Академическая и университетская корпорация должна быть благодарна этим людям, первым среди которых следует назвать ректора МГУ Виктора Антоновича Садовниченко.

Российской академии наук знаменательная дата в истории Московского университета близка и дорога не только потому, что члены нашей академии, прежде всего Михаил Васильевич Ломоносов, стояли у истоков университета, но и потому, что все 250 лет его существования наше сотрудничество было всепроникающим и взаимообогащающим. Действительно, тысячи нитей, порой невидимых для непосвященных, образуют неразрывную связь Московского университета и Российской академии наук.

Я бы сказал так: нас соединяет широкая дорога с двусторонним движением. Это движение породило много крупных и добрых дел, способствовавших не только развитию образования и научной культуры в России, но и страны в целом. Подробно об этом расскажет академик В.А. Садовниченко в своем докладе.

Вниманию участников нашей сессии сегодня будет представлено несколько докладов. Один из них – доклад академика О.Н. Крохина – посвящен 50-летию развития квантовой электроники. У истоков этого научного направления стояли, внося в него основополагающий вклад, члены нашей академии, наши

выдающиеся соотечественники академики Александр Михайлович Прохоров и Николай Геннадиевич Басов, лауреаты Нобелевской премии. Мы заслушаем также доклады академиков В.В. Козлова и Н.С. Зефирова.

Дорогие коллеги, в субботу у меня состоялся разговор с Александром Исаевичем Солженицыным, действительным членом нашей академии и почетным профессором Московского университета. Он сожалеет, что не может присутствовать на сегодняшнем заседании, и просил передать, что придает символическое значение нашей встрече, которая должна способствовать процветанию науки и образования в стране.

МОСКОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК И НАУКА В РОССИИ

*Ректор МГУ им. М.В. Ломоносова
академик В.А. Садовничий*

Для меня большая честь приветствовать Общее собрание Академии наук – штаба фундаментальной науки нашей страны, выдающейся научной корпорации, людей, чей труд составляет гордость и славу отечественной науки. Тот факт, что сегодня Российская академия наук проводит свое Общее собрание, посвященное 250-летию МГУ, в стенах университета, мы воспринимаем как признание со стороны авторитетной научной общественности роли и места Московского университета в развитии науки и образования.

Через полтора месяца Московскому университету исполняется 250 лет. За эти два с половиной века стараниями многих поколений выдающихся умов он стал не только всемирно признанным лидером высшего образования, но и мощнейшим генератором научной мысли, живительным источником, из которого питались и питаются научные школы, вошедшие в историю отечественной и мировой науки. Наука в Московском университете – это неразрывный союз университета и Академии наук. Трудно, если вообще возможно, назвать другой университет, учреждение или организацию в России, с которыми столь тесно и органически была бы переплетена судьба Российской академии наук.

За всю историю Московского университета насчитывается треть работавших в нем членов Академии наук. И сегодня около 200 наших профессоров носят почетное академическое звание. За время существования Академии наук в нее были избраны 3411 человек (1513 академиков и 1898 членов-корреспондентов). Без малого треть ее состава – 987 человек (502 академика и 485 членов-корреспондентов) – выпускники и профессора Московского университета. Предметом особой гордости университета является его решающий вклад в формирование “женской составляющей” академии: 9 выпускниц университета избраны академиками и 12 – членами-корреспондентами РАН.

280 лет назад, во времена основания Академии наук, Россия испытывала острый голод в собственных научных кадрах. И Московский университет создавался, как было сказано в Указе о его учреждении, чтобы восполнить



Герб Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

недостаток “национальных достойных людей в науках”. Эта задача национального масштаба была поэтическим языком сформулирована М.В. Ломоносовым еще за несколько лет до основания университета: показать, “что может собственных Платонов и быстрых разумом Невтонов Российская земля рождать”. Ломоносов и сам был рожденный русской землей “Ньютон и Платон”. Пушкин писал о нем: “Он создал первый университет. Он, лучше сказать, сам был первым нашим университетом”. В научном творчестве Ломоносова – труды по химии, физике, географии, горному делу, истории, филологии. Ученость Ломоносова питалась из нескольких источников. Выйдя из Славяно-греко-латинской академии, он попал в студенты при Академии наук, потом учился в Марбургском университете и “... из Германии туманной привез учености плоды”. В это время

наука в России была сосредоточена в Петербургской академии наук и в основном питалась плодами европейской, как правило немецкой, учености. Своих ученых еще не было, их предстояло вырастить. Их выращиванием и занялся университет. К счастью, российская почва оказалась более чем плодородной. Но труды и Академии наук, и Московского университета, направленные на становление и развитие отечественной науки, трудно переоценить.

Прежде всего надо отдать должное отцам-основателям университета – М.В. Ломоносову и И.И. Шувалову. Совместный проект великого ученого и выдающегося государственного деятеля сыграл решающую роль в становлении отечественного образования и науки. Выстраданная ими великая национальная идея была провозглашена в указе императрицы Елизаветы Петровны как задача государственной важности.

Велик вклад академии в развитие университета. Действительно, Академия наук является первоисточником российской науки. Она стояла у истоков Московского университета, дав ему в качестве первого куратора своего первого президента – Лаврентия Блюментроста и первых профессоров – лучших учеников Ломоносова – Николая Никитича Поповского и Антона Алексеевича Барсова. С их имен начинается научная биография нашего университета. Первых профессоров, так же как и первых академиков, пригласили из-за границы. Конечно, среди приглашенных иностранцев были не только великие ученые, но в целом их знания, которыми питались студенты Московского университета, оказались весомым вкладом, положенным в основание нашей науки. И сегодня мы отдаем дань уважения и благодарности тем иностранным ученым, которые в те далекие годы приехали поделиться опытом и знаниями, но так и остались, обретя здесь второе отечество.

Для становления науки в России было важно сделать язык науки понятным российским студентам. И поэтому один из первых российских профессоров, Н.Н. Поповский, призвал ученых говорить по-русски. В своей первой университетской лекции он сказал: “Что ж касается до изобилия русского языка, в том перед нами римляне похвалиться не могут. Нет такой мысли, кою бы по-русски изъяснить было невозможно”. Именно в Московском университете российская наука заговорила на родном языке, что безусловно стало мощным фактором ее развития.

Условия развития науки в университете со временем менялись. Например, в 1769 г. на заседании Конференции, то есть тогдашнего Ученого совета, был принят документ, где говорится буквально следующее: “Для театра анатомического потребна медная лохань вышиною и шириною в один аршин, а длиною без четверти в три аршина”. Прошел век, и университет уже решал задачи другого масштаба. В конце XIX в. в истории того же медицинского факультета настал поистине звездный час: на Девичьем поле открылся целый клинический городок из 13 клиник и 6 специализированных институтов. И все это был медицинский факультет Московского университета! Открытие городка было приурочено к собравшемуся в Москве в 1897 г. Международному съезду врачей, кульминацией которого стало открытие памятника воспитаннику университета, основоположнику отечественной полевой хирургии Николаю Ивановичу Пирогову. А сейчас, в преддверии юбилея, на нашей новой территории начинается строительство университетского медицинского центра, базового для факультета фундаментальной медицины, где будут представлены последние достижения медицинской науки.

При принятии нового Устава университета 1804 г. в России были введены ученые степени и ученые звания, или должности, имеющие соответствия в Табели о рангах. Этот этап укрепления общественного статуса науки стал важным фактором, благотворно повлиявшим на ее развитие. Теперь Московский университет, по новому уставу, мог сам “производить в градусы”, то есть присваивать ученые степени, о чем с момента его основания мечтал Ломоносов.

Война 1812 г. оставила трагический след в истории Московского университета. В пожаре погибли почти все здания университета вместе с оставшимися там сокровищами из университетских музеев, лабораторий, библиотеки, архивом за весь XVIII век, личными коллекциями. До основания сгорел главный корпус университета, построенный М.Ф. Казаковым. Чудом



Михаил Васильевич Ломоносов



Иван Иванович Шувалов

уцелели часы, которые остановились во время пожара. Сейчас это – бесценная реликвия, хранящаяся в нашем музее истории, воплощенная метафора остановившегося времени. К счастью, время Московского университета не остановилось, и после пожара его развитие продолжалось еще более энергично. Университет уже стал любимым детищем своей страны, а его восстановление – делом всей России.

Середина XIX в. внесла оживление не только в общественную, но и в научную жизнь. Именно тогда в Московском университете формируются научные школы, деятельность которых выходит далеко за университетские рамки. “Когда спрашивают о науке в той или другой стране, – говорил академик Н.И. Вавилов, – то мы прежде

всего думаем о том, что внесли научные деятели в мировые знания, какие новые пути проложили они, какие оригинальные исследовательские школы существуют в стране. В наших умах встают имена выдающихся исследователей, которых дала данная страна. Как маяки, они определяют научный уровень страны, направленность работы научных коллективов”.

Наука в России развивалась во многом благодаря той уникальной роли, которую сыграли Академия наук и Московский университет, те, кто основывал университетские кафедры и академические институты, создавал новые установки и совершал научные открытия. Именно в единстве этих выдающихся людей, работавших одновременно и в Московском университете, и в Академии наук, и состоит та уникальная роль, о которой я сказал.

* * *

Давайте посмотрим, как складывались основные научные школы Московского университета. Должен сразу отметить, что невозможно в одном докладе рассказать обо всех научных достижениях и авторах этих достижений. Я назову много имен наших великих учителей, которые создавали эти научные школы, и, надеюсь, что все с пониманием отнесется к тому, что некоторые имена, безусловно достойные, останутся за рамками доклада. Главное, что они живы в нашей благодарной памяти.

Позвольте мне начать с математики. Работу по математизации России начал еще Леонард Эйлер, швейцарец по рождению, русский по всей последующей жизни. Прах его покоится в Александро-Невской лавре Санкт-Петербурга, рядом с прахом М.В. Ломоносова и И.И. Шувалова. А в Московском университете постепенный расцвет и последующий блестящий взлет математики начинается с середины XIX в. Существенную роль в становлении математического образования в Московском университете сыграли профессора Николай Дмитриевич Брашман и Николай Ефимович Зернов. Учеником



Здание Московского университета в начале XIX в. На переднем плане – река Неглинка

Брашмана был Пафнутий Львович Чебышёв – основоположник математической теории машин и механизмов, один из классиков теории приближений функций, теории чисел и теории вероятностей. Переселившись в Петербург, он создал знаменитую Петербургскую математическую школу, к которой принадлежали, в частности, А.А. Марков, А.М. Ляпунов, В.А. Стеклов. Чебышев всегда хранил благодарную память о своих учителях, никогда не порывал связи с Московским университетом. Портрет своего учителя Н.Д. Брашмана он хранил на письменном столе. Московский университет верен памяти своего выдающегося питомца. В Спасе-на-Прогнани Калужской области, где похоронен Чебышев, стараниями Московского университета и Академии наук создан его музей. У портрета Чебышева на мехмате всегда живые цветы.

Рубеж веков в математике отмечен именем Николая Васильевича Бугаева, профессора Московского университета, члена академии, самого влиятельного московского математика этого времени. Он был заметной фигурой московской культурной жизни, поддерживал близкие отношения с С.И. Танеевым и А.Г. Рубинштейном, С.М. Соловьевым, Ф.Н. Плевако, Н.В. Скляфосовским. С ним любил беседовать Лев Толстой. Кроме того, он был отцом Бориса Бугаева, вошедшего в литературу как Андрей Белый, у которого, в частности, есть такие строчки:

И мой отец, декан Летаев,
Руками в воздух разведя:
“Да, мой голубчик, – ухо вянет:
Такую, право, порешь чушь”.
И в глазах крошечных проглянет
Математическая сушь.
Широконосый и раскосый
С жестковолосой бородой,
Расставит в воздухе вопросы:
Вопрос – один; вопрос – другой;
Неразрешимые вопросы...



Бывшее главное здание Московского университета на Моховой улице

В начале XX в. в центре внимания математиков была теория функций действительного переменного. Именно эта тематика стала предметом исследований профессоров Московского университета членов Академии наук Дмитрия Федоровича Егорова и Николая Николаевича Лузина. В начале века ими были доказаны основополагающие теоремы в теории функций, носящие их имена – теорема Лузина, теорема Егорова. Так возникла одна из самых знаменитых математических школ XX в. – московская школа теории функций – Лузитания.

В методах научно-педагогической работы Н.Н. Лузин произвел настоящую революцию: двери профессорской комнаты широко раскрылись для оживленной научной беседы со студентами, причем перед ними ставились проблемы, решение которых в данный момент не удавалось руководителю. Это был сильнейший толчок к самостоятельной творческой работе.

Об этом сохранились воспоминания одного из учеников Лузина – члена-корреспондента Академии наук Дмитрия Евгеньевича Меньшова. Но сначала позвольте мне сказать несколько слов об этом выдающемся ученом, заведующем кафедрой мехмата. Д.Е. Меньшов производил впечатление уже своей неординарной внешностью. Около двух метров роста, худой, с профессорской бородкой, он ходил в пиджаке, застегнутом на булавки. Жил в коммунальной квартире, спал на сундуке с книгами, укрывался вместо одеяла трофейной румынской шинелью. Лишившись в результате сноса дома и комнаты в коммунальной квартире, он последние лет десять прожил в санатории Академии наук “Узкое”. Помню, как во время одного из моих посещений Дмитрия Евгеньевича в “Узком” – а ему уже исполнилось 95 лет – он вместо приветствия протянул мне статью, напечатанную в “Докладах Академии наук”, с новым блестящим математическим результатом. А про то революционное время он вспоминал: “В 1915 году мы занимались функциональными рядами, а в 1916 году – ортогональными рядами. А потом наступил 1917 год. Это был очень памятный

год в нашей жизни, в тот год произошло важнейшее событие, повлиявшее на всю нашу дальнейшую жизнь: мы стали заниматься тригонометрическими рядами”.

В начале 20-х годов начались исследования в области теории функций комплексного переменного. Выдающиеся результаты были получены Михаилом Алексеевичем Лаврентьевым и его учеником, будущим Президентом Академии наук СССР, главным теоретиком космических программ Мстиславом Всеволодовичем Келдышем. В это время Александр Яковлевич Хинчин получил первые важные результаты по теории вероятностей. В 30-е годы крупнейший русский математик XX в. Андрей Николаевич Колмогоров предложил общепринятую сегодня аксиоматику теории вероятностей, что имело огромное значение для развития этой теории и ее применения во многих областях естествознания и техники. В конце 20-х – начале 30-х годов Л.А. Люстерник, Л.Г. Шнирельман и А.Н. Колмогоров заложили основы функционального анализа.

Среди других выдающихся имен – Сергей Львович Соболев, создатель теории обобщенных функций, и Павел Сергеевич Александров, основатель советской топологической школы. Из нее вышли Андрей Николаевич Тихонов и Лев Семенович Понтрягин. А.Н. Тихонов – автор основополагающих работ по общей топологии и функциональному анализу, по теории дифференциальных и интегральных уравнений, по математической физике и вычислительной математике. Ему принадлежит метод решения некорректно поставленных задач, известный во всем мире как метод регуляризации Тихонова. Он – основатель одной из крупнейших научных школ по математической физике и вычислительной математике. Полученные им и его учениками результаты нашли широкое применение в различных областях естествознания и техники, в том числе позволили решить ряд важных оборонных и народно-хозяйственных задач. Под его руководством были осуществлены и приняты за основу модели ядерного взрыва. Л.С. Понтрягин оставил глубокий след во многих центральных областях современной математики, как чистой, так и прикладной. Его труды оказали определяющее влияние на развитие топологии и топологической алгебры, а созданные им теория оптимального управления и теория дифференциальных игр нашли широкое применение в различных областях, в том числе и в работах по созданию новой техники, где обязательно учитывается принцип максимума Понтрягина. Можно без преувеличения сказать, что Лев Семенович Понтрягин совершил жизненный подвиг. Будучи незрячим, он стал, по признанию многих, одним из первых в неформальной таблице о рангах математиков мира.

В ряду выдающихся университетских математиков назову и создавшего школу по теории систем уравнений с частными производными Ивана Георгиевича Петровского, который в течение 21 года был ректором Московского университета.

Академическая и университетская наука всегда были тесно переплетены, и даже многие структурные преобразования в Академии наук и университете проходили практически одновременно. Через год после того, как физико-математический факультет разделился на мехмат и физфак, Физико-математический институт Академии наук был преобразован в два самостоятель-

ных института: Математический институт им. В.А. Стеклова и Физический институт им. П.Н. Лебедева. После переезда Математического института в Москву произошло слияние академической и университетской математики. Выдающиеся ученые смогли руководить кафедрами университета и отделами института. В институт пришли Н.Н. Лузин, А.Н. Колмогоров, М.А. Лаврентьев, С.П. Соболев, Л.С. Понтрягин, И.Г. Петровский, А.Я. Хинчин, П.С. Александров и многие другие университетские математики, которые продолжали преподавать в университете. С университетом была связана и работа первого директора института И.М. Виноградова. Созданные этими выдающимися математиками научные школы и сегодня плодотворно развиваются, а ученые этих школ, работающие в Московском университете и Математическом институте РАН, получают новые результаты, которые восхищают научный мир.

Накануне революции в Московском университете сложилась крупная научная школа в области механики под руководством члена академии Николая Егоровича Жуковского, основателя теоретической и экспериментальной аэродинамики в России. Всей своей научной деятельностью в области аэромеханики Жуковский подтвердил правоту сказанных им еще в 1898 г. слов: “Правда, человек не имеет крыльев и по отношению веса своего тела к силе мускулов в 72 раза слабее птицы... Но я думаю, что он полетит, опираясь не на силу своих мускулов, а на силу своего разума”. Академик Сергей Алексеевич Чаплыгин работал над проблемами, связанными со скоростями, приближающимися к скорости звука, разработал теорию механизированного крыла. Вклад этих работ, значительно опередивших технику, особенно велик в связи с развитием скоростной и реактивной авиации. Заложенные академиками Н.Е. Жуковским, С.А. Чаплыгиным, М.А. Лаврентьевым, Н.Е. Кочинным, М.В. Келдышем традиции отечественной школы в области аэро- и гидродинамики получили замечательное развитие в трудах Л.Н. Сретенского, Н.А. Слезкина, Л.И. Седова и других. Начатые еще в довоенные годы И.И. Артоболевским, Б.В. Булгаковым и А.Ю. Ишлинским исследования по прикладной механике стали основой, на которой выросла известная школа в области теории гироскопов, теории колебаний и автоматического регулирования.

В завершение этого раздела своего доклада хочу сказать еще несколько слов о той огромной научно-организационной работе, которую вели ученые, воспитанные Московским университетом, о той поистине титанической ноше, которую они взяли на свои плечи. М.В. Келдыш в течение 14 лет был президентом АН СССР, 25 лет возглавлял созданный им Институт прикладной математики, который теперь носит его имя. Многие достижения нашей страны в исследовании космоса связаны с его именем. М.А. Лаврентьев – инициатор создания и первый председатель Сибирского отделения АН СССР, основатель и директор Института точной механики и вычислительной техники АН СССР. Невозможно рассказать обо всех его научных результатах. Но, как знать, может быть, спокойная жизнь сегодняшней Алма-Аты напрямую связана с моделями плотины Медео, разработанными этим выдающимся ученым.

* * *

Становление физической науки в Московском университете связано с именем Петра Ивановича Страхова, первого выпускника университета, избранного в академию. Еще в конце XVIII в. он впервые начал читать курс физики на русском языке.

Крупные научные школы появились только во второй половине XIX в., прежде всего благодаря деятельности Александра Григорьевича Столетова. Ему принадлежат пионерские работы в области ферромагнетизма, установление закономерностей фотоэлектрического эффекта. В конце XIX в. Николай Алексеевич Умов заложил основы учения о локализации и движении энергии в сплошной среде, ввел понятие о потоке энергии (вектор Умова-Пойнтинга) и организовал Физический институт при Московском университете. Поэтические воспоминания о его лекциях оставил Андрей Белый:

И было: много-много дум,
И метафизики, и шумов...
И строгой физикой мой ум
Перепопнял профессор Умов.
Над мглой космической он пел,
Развив власы и выгнув выю,
Что парадоксами Максвелл
Уничтожает энтропию, –
Что взрывы, полные игры,
Таят томсоновы вихри
И что огромные миры
В атомных силах не утихли.

В 1900 г. профессором физико-математического факультета стал Петр Николаевич Лебедев. Это был экспериментатор-виртуоз. Он обнаружил эффект давления света на твердые тела и газы и сумел измерить величину этого давления. Среди его учеников – выдающиеся физики, члены академии П.П. Лазарев, СИ. Вавилов, Н.Н. Андреев, В.К. Аркадьев, Т.П. Кравец, А.С. Предводителей и многие другие.

Выпускник Московского университета Сергей Иванович Вавилов в течение многих лет преподавал в университете, организовал и первым возглавил кафедру общей физики. Его работы заложили основы нелинейной оптики. Ему принадлежит также важная роль в понимании природы свечения, открытого его учеником П.А. Черенковым. Теорию эффекта Вавилова–Черенкова разработали И.Е. Тамм и И.М. Франк, которые совместно с П.А. Черенковым в 1958 г. получили за это Нобелевскую премию. С.И. Вавилов был первым директором ФИАНа, ставшего ведущим научным центром в области физики. Он многое сделал для университетской и академической физики, пригласил в ФИАН выдающихся физиков из университета: Д.И. Блохинцева, Г.С. Ландсберга, Л.И. Мандельштама, М.А. Леонтовича, В.В. Мигулина, И.Е. Тамма и многих других. Сергей Иванович внес большой вклад в организацию науки в России в целом. С 1945 по 1951 г. он был президентом Академии наук СССР.

Научная школа П.Н. Лебедева дала еще одно плодотворное ответвление. В предвоенные годы начали развиваться исследования по геофизике, кото-

рые возглавил один из ближайших учеников П.Н. Лебедева академик Петр Петрович Лазарев. Развитие геофизических исследований связано с именами Василия Владимировича Шулейкина, Отто Юльевича Шмидта, Александра Михайловича Обухова и других.

Перед самой войной академик Дмитрий Владимирович Скобельцын создал на физическом факультете кафедру атомного ядра и радиоактивности, а затем на ее основе в 1946 г. Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, ныне носящий его имя. Сам факт создания Научно-исследовательского института сразу после войны для того, чтобы использовать новейшие достижения науки в подготовке студентов, заслуживает внимания и сейчас. В наше, казалось бы, более благополучное время наука в университетах стала испытывать трудности. Может быть, стоит почаще обращаться к нашей истории? Д.В. Скобельцыну принадлежат выдающиеся открытия и идеи, на десятилетия предвосхитившие развитие физики космических лучей и физики высоких энергий. Это, в первую очередь, экспериментальное доказательство справедливости квантовой электродинамики, открытие космических лучей как частиц высокой энергии, открытие ливней из частиц космических лучей, открытие ядерно-каскадного процесса в космических лучах. После смерти С.И. Вавилова Дмитрий Владимирович 22 года был директором ФИАН.

Ученики и последователи Д.В. Скобельцына, включая академика Сергея Николаевича Вернова, сменившего Скобельцына на посту директора НИИЯФ, получили выдающиеся результаты в области физики космоса и космических лучей.

Среди физиков Московского университета хотел бы еще отметить академика Льва Давидовича Ландау, получившего Нобелевскую премию за работы по теории сверхтекучести, и академиков Михаила Александровича Леонтовича, Льва Андреевича Арцимовича, долгие годы возглавлявших теоретические исследования по физике плазмы. Приход в университет Николая Николаевича Боголюбова положил начало развитию новой научной школы физиков-теоретиков. Академик Н.Н. Боголюбов – создатель новой нелинейной механики, автор ряда важнейших результатов в области квантовой теории поля и теории элементарных частиц, создатель микроскопических теорий сверхтекучести и сверхпроводимости. Боголюбов был не только выдающимся ученым, но и крупным организатором науки. В Московском университете он создал и возглавил кафедру квантовой статистики и теории поля. В течение 25 лет он был академиком-секретарем Отделения математики АН СССР, 27 лет – директором Объединенного института ядерных исследований в Дубне и 5 лет – директором Математического института им. В.А. Стеклова.

50 лет назад возник новый раздел физики – квантовая электроника. Академики Александр Михайлович Прохоров и Николай Геннадиевич Басов за основополагающие работы в этой области получили Нобелевскую премию. Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии А.М. Прохоров 18 лет был академиком-секретарем Отделения общей физики и астрономии АН СССР, организовал и был первым директором Института общей физики Академии наук.

Под руководством академика Рэма Викторовича Хохлова, ректора Московского университета, и профессора Сергея Александровича Ахманова формируется школа по теоретическому и экспериментальному исследованию

нелинейных волн. Ими были разработаны основы современной квазиоптики нелинейных диспергирующих анизотропных сред.

Сегодня как никогда активно продолжают развиваться связи Московского университета и Академии наук в области физики. Создан филиал МГУ, создаются совместные учебно-научные центры, и нет сомнений в том, что в ближайшее время это широкое сотрудничество приведет к новым выдающимся результатам.

* * *

Корни университетской биологической науки – на медицинском факультете, одном из трех слагаемых Московского университета в 1755 г. Гуманные цели медицины и пылкий интерес естествоиспытателей к удивительному разнообразию живой природы – вот те стимулы, которые определили направление биологических традиций в Московском университете, воодушевили наших предшественников и дошли до нас не слишком видоизмененными, но углубленными и дополненными усилиями многих поколений ученых.

Уже в XVIII в. на территории нынешнего проспекта Мира располагался Аптекарский огород. Впоследствии он стал первым Ботаническим садом Московского университета, где растет пальма, посаженная Петром I. В середине XIX в. открывается Зоологический музей, потом – Зоосад. В это время в университете начинают активную работу два ученых, с именами которых связано мировое признание научных школ российской биологии – члены академии Иван Михайлович Сеченов и Климент Аркадьевич Тимирязев.

И.М. Сеченов открыл явление центрального торможения – задерживающее влияние нервных центров головного мозга на двигательную активность организма. Этот феномен был положен в основу учения о взаимоотношениях организма и среды. Он стал родоначальником отечественной физиологической школы – “отцом русской физиологии”. Его имя носит Московская медицинская академия и Институт эволюционной физиологии и биохимии РАН.

К.А. Тимирязев исследовал процессы жизнедеятельности растений – фотосинтеза, водного режима, минерального питания. Имя Тимирязева присвоено Московской сельскохозяйственной академии и академическому Институту физиологии растений. Он воспитал плеяду талантливых учеников, среди которых академики В.И. Палладин, С.Г. Навашин, Д.Н. Прянишников.

В XIX–XX вв. в университете формируются школы классической зоологии и ботаники, развитие которых связано с именами академиков М.А. Мензбира, Н.К. Кольцова, Л.А. Зенкевича, А.Н. Северцова, С.А. Вернова, И.И. Шмальгаузена, В.Е. Соколова и членов-корреспондентов С.А. Рачинского, А.П. Богданова, В.Н. Тихомирова и Г.В. Никольского.

В начале XX в. закладываются основы современных направлений физико-химической биологии, благодаря открытиям, позволившим начать проникновение в суть работы молекулярной машины живых существ. Начались интенсивные исследования биохимии, молекулярной биологии, молекулярной генетики, биофизики живых существ.

И в биологии мы наблюдаем тесное переплетение путей развития университета и Академии наук. Развитие физико-химической биологии связано с именем Николая Константиновича Кольцова, который долгие годы заведо-

вал в Московском университете кафедрой экспериментальной биологии. Его исследования сократимости клеток, цитоскелета перерастают в направление, которое позже можно будет назвать молекулярной генетикой и медицинской генетикой. В 1917 г. он организовал Институт экспериментальной биологии Академии наук и в течение 22 лет был его директором. Теперь это Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова.

Важную страницу в историю биологии вписал академик Сергей Евгеньевич Северин – основатель университетской школы биохимиков. Более полувека он возглавлял кафедру биохимии животных биологического факультета и четверть века – отдел биохимии животной клетки Института физико-химической биологии. Профессором этой кафедры был академик Владимир Александрович Энгельгардт – организатор и первый директор Института молекулярной биологии АН, ныне носящего его имя. Заведующий кафедрой биохимии растений биологического факультета МГУ академик Александр Иванович Опарин, вошедший в историю науки как создатель своей теории происхождения жизни на Земле, 34 года был директором Института биохимии АН СССР. Становление отечественной технической микробиологии связано с именем академика Владимира Николаевича Шапошникова, долгое время возглавлявшего кафедру микробиологии биологического факультета МГУ. Андрей Николаевич Белозерский заложил основы ряда научных направлений физико-химической биологии, связанных с изучением нуклеиновых кислот, которым тогда еще не придавали значения основного носителя генетической информации в живых организмах. Он создал в МГУ институт, носящий сейчас его имя, – Институт физико-химической биологии, а совсем недавно в университете открыт и новый факультет – биоинженерии и биоинформатики.

Говоря о развитии биофизики, надо назвать имена университетских профессоров академиков Александра Николаевича Теренина, Глеба Михайловича Франка, Александра Абрамовича Красновского. Г.М. Франк стал основателем и первым директором Пущинского научного центра Академии наук. Его строительство на берегу Оки овеяно легендами. Говорят, что сначала нашли прекрасное место в 40 км от Москвы вблизи города Подольска, в долине маленькой, но очень живописной речки Моча, в окружении березовых рощ, рядом с удобным шоссе. Но, как говорят шутники, А.Н. Несмеянов не был убежден, что студенты, обладающие, как известно, развитым чувством юмора, будут правильно произносить это название, с должным ударением на первом слоге, и стали искать другое место. Военные дали вертолет, поиски продолжили с воздуха и нашли хорошее место – это были поля и рощи на высоком правом берегу Оки, вблизи деревни Пущино.

Буквально через несколько лет после того, как был построен Пущинский научный центр, по инициативе вице-президента АН СССР А.Н. Белозерского и ректора МГУ И.Г. Петровского в Пущине был создан филиал Московского университета. Это один из многочисленных примеров интеграции Академии наук и МГУ. Сегодня Московский университет обладает уникальным научным потенциалом в области биологии, наук о жизни. Три факультета (биологический, почвоведения, фундаментальной медицины), два НИИ и теснейшая связь с институтами РАН позволяют готовить специалистов мирового класса в этих научных областях.

* * *

Первым российским химиком по праву считается Ломоносов, но становление крупных химических научных школ в Московском университете фактически приходится на конец XIX в. Создателем первой такой школы был Владимир Васильевич Марковников, которому принадлежат важнейшие работы в области органической химии и первые систематические работы по химии нефти. Эти направления исследований были продолжены выдающимся ученым академиком Николаем Дмитриевичем Зелинским, сформировавшим новое направление – органический катализ. Он создал в Московском университете знаменитые школы химиков-органиков, нефтехимиков и катализаторов, яркими представителями которых являются академики Александр Николаевич Несмеянов, Сергей Семенович Наметкин, Борис Александрович Казанский, Алексей Александрович Баландин, профессор Альфред Феликсович Платэ.

А.Н. Несмеянову принадлежат основополагающие исследования в области элементоорганической химии, а также важные и оригинальные работы по органической и теоретической химии и по созданию синтетических пищевых продуктов. Среди его учеников – академик Олег Александрович Реутов. Как ректор МГУ, академик А.Н. Несмеянов руководил организацией строительства зданий университета на Ленинских горах, которое закончилось, когда он был уже президентом Академии наук.

Крупные школы в области неорганической химии создали академики Николай Семенович Курнаков, Виктор Иванович Спицын и Александра Васильевна Новоселова, в области аналитической химии – академик Иван Павлович Алимарин, в химии полимеров – академик Валентин Алексеевич Каргин, в химии белка и нуклеиновых кислот – Михаил Алексеевич Прокофьев. Годы его работы в должности министра были временем взлета нашей системы образования.

Гордостью Московского университета и отечественного естествознания являются работы академика Николая Николаевича Семенова – создателя теории цепных разветвленных реакций, горения и взрывов, единственного в нашей стране лауреата Нобелевской премии по химии. Более 40 лет возглавлявший кафедру химической кинетики на химическом факультете, Н.Н. Семенов был организатором и первым директором Института физической химии АН СССР, академиком-секретарем и вице-президентом Академии наук. Его дела с успехом были продолжены выдающимся ученым академиком Николаем Марковичем Эмануэлем.

Крупнейший биохимик, один из пионеров биоинженерии и биотехнологии в нашей стране академик Юрий Анатольевич Овчинников – автор ряда фундаментальных открытий в области биохимии и молекулярной биологии. Его исследования и работы по созданию отечественных препаратов генно-инженерных интерферонов, инсулина и других медицинских препаратов получили мировое признание. Он руководил основанной им кафедрой биоорганической химии биологического факультета МГУ, будучи в то же время директором Института биоорганической химии им. М.М. Шемякина Академии наук, который после его смерти стал носить и его имя. Кроме того, в течение 14 лет Юрий Анатольевич был вице-президентом АН СССР.

Если говорить в целом о потенциале ученых-химиков, работающих сегодня в Московском университете, то без преувеличения можно сказать, что другого такого места, где бы одновременно трудилось столько исследователей, наверное, нет. Фактически три факультета ведут подготовку специалистов-химиков, два учебно-научных центра, центр трансфера технологий, филиал МГУ в наукограде Черноголовка. Только на химическом факультете работает около 2000 научных сотрудников – химиков и их коллег.

На рубеже веков в научной жизни Московского университета появилась фигура исключительного масштаба – Владимир Иванович Вернадский – выдающийся мыслитель, естествоиспытатель, минералог и кристаллограф, один из основоположников геохимии и биогеохимии, радиохимии, космохимии, гидрохимии; радиогеолог; историк науки, основоположник учения о биосфере и ноосфере. “Школа Вернадского сделалась не лозунгом, а настоящим центром научной мысли, и крупные люди – профессора, академики вырастали около него, всегда питаясь жизненными соками его идей”, – писал его ученик академик А.Е. Ферсман.

* * *

В Московском университете сформировались крупнейшие геологические научные школы, среди которых отмечу школу академика Николая Васильевича Белова по структурной кристаллографии, учениками и последователями которого только за последнее десятилетие на Кольском полуострове, на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке открыто 78 новых минералов. Это также школы И.О. Брода и Н.Б. Вассоевича, школа академика В.И. Смирнова, связанная с изучением закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых, и другие. Признание вклада университетских геологов выразилось в том, что около 20 минералов названы в честь преподавателей и сотрудников геологического факультета МГУ.

Как яркий пример преданности своему делу и Московскому университету хочу вспомнить такой случай. Наш профессор-геолог привез из далекой экспедиции некий уникальный образец (он сейчас находится в Музее землеведения МГУ). Однако камень оказался очень тяжелым, и, чтобы привезти его в Москву, профессору пришлось расстаться со всеми своими вещами.

* * *

Университету вообще свойственна междисциплинарность научных исследований. Начиная с Ломоносова в Московском университете было много ученых-энциклопедистов, проявивших себя в разных отраслях знания. Только что я говорил о В.И. Вернадском. Многообразны были научные интересы и Дмитрия Николаевича Анучина, выдающегося русского антрополога, этнографа, зоолога, археолога, географа, одного из основоположников антропологии в России. В его биографии интересен такой факт. Он был избран ординарным академиком по физико-математическому отделению (специализация “зоология”) в 1896 г., однако в мае 1898 г. сложил с себя это звание, так как не смог переехать в Санкт-Петербург. Но заслуги его в науке были так велики, что в этом же году его избрали почетным членом академии.

Становление научного почвоведения в Московском университете связано с именем Алексея Николаевича Сабанина, который с 1890 по 1920 г. руководил кафедрой агрономии, фактически преобразовав ее в кафедру почвоведения. При его деятельном участии в 1905 г. было построено здание Агрономического института МГУ.

И сегодня в МГУ ученые-геологи, географы, экологи сотрудничают со всеми крупнейшими центрами в этих областях знания. Практически ни одна серьезная научная экспертиза по этому профилю в нашей стране не проводится без их участия. Многие из этих ученых одновременно работают в Академии наук.

* * *

Нужно особо выделить роль Московского университета в становлении и развитии гуманитарного сектора Академии наук. Речь идет об академии, созданной в 1783 г. княгиней Екатериной Романовной Дашковой специально для изучения русского языка и литературных памятников древности. Называлась она просто Российской академия, а первым ее президентом была сама Е.Р. Дашкова. Первыми членами этой академии стали воспитанники Благородного пансиона при Московском университете. А в 1841 г. на базе Российской академии было организовано Отделение русского языка и словесности Академии наук, и в разряде академиков оказались многие выдающиеся выпускники и профессора Московского университета: И.И. Давыдов, В.А. Жуковский, М.Т. Каченовский, М.П. Погодин, С.П. Шевырев.

Гуманитарные науки играли особую роль в становлении Московского университета, поскольку именно с ними было связано развитие национально-го самосознания. Среди ученых Московского университета, которые внесли в это большой вклад, были историки – академики С.М. Соловьев, В.О. Ключевский, М.П. Погодин, филологи – академики Ф.И. Буслаев, В.В. Виноградов, Н.И. Толстой, философы – В.С. Соловьев, С.Н. и П.Н. Трубецкие, П.А. Флоренский, А.Ф. Лосев и другие.

Первым историком Московский университет по праву считает Ломоносова. Его труды по истории – это и научные изыскания первопроходца в отечественной исторической науке, и публицистические произведения. Вот исполненное высокого пафоса кредо Ломоносова-историка: “История ... дает государям примеры правления, подданным – повиновения, воинам – мужества, судьям – правосудия, младым – старых разум, престарелым – сугубую твердость в советах...”.

Михаил Трофимович Каченовский стал основоположником так называемой “скептической школы”, которая провозглашала необходимость тщательного выяснения подлинности источников и истинности сообщаемых в них сведений. Это с ним и с другим профессором – Иваном Ивановичем Давыдовым – спорил во время своего посещения университета Пушкин, отстаивая подлинность “Слова о полку Игореве”. Сергей Михайлович Соловьев создал “Историю России с древнейших времен”, которая ознаменовала новый этап развития российской исторической науки. Он изучал русскую историю как органический процесс, от возникновения древнерусского государства до второй половины XVIII в. Василию Осиповичу Ключевскому принадлежит

ведущая роль в постановке проблем социальной истории, которая смогла расширить рамки чисто “событийной” истории. Михаил Петрович Погодин много сделал для становления традиций взаимоотношений профессоров и студентов: приглашал студентов для занятий в собственном доме, где у него была богатейшая коллекция древнерусских рукописей и книг. Первым из профессоров Московского университета он попытался сформулировать цельную концепцию истории России, обосновать своеобразие ее исторического развития.

Среди выдающихся историков, работавших в Московском университете в XX в., надо назвать археографа и археолога академика Юрия Владимировича Готье, крупнейшего специалиста по истории Киевской Руси академика Бориса Александровича Рыбакова и основателя Новгородской археологической экспедиции МГУ, открывшего “берестяные грамоты”, Артемия Владимировича Арциховского, и многих других.

XIX век – эпоха становления филологических научных дисциплин. Начало подлинно научного изучения истории русского литературного языка прошлого и старославянского языка было положено выдающимся русским лингвистом Александром Христофоровичем Востоковым, который первым применил к исследованию славянских языков сравнительно-исторический метод, первым разграничил старославянский и церковнославянский языки. Федор Иванович Буслаев много сделал для комплексного изучения памятников древнерусской литературы. Филиппу Федоровичу Фортунатову принадлежит заслуга в формировании московской лингвистической школы, которая оказала существенное влияние на дальнейшее развитие отечественного и зарубежного языкознания. Сам Ф.Ф. Фортунатов был ученым-энциклопедистом и прекрасным педагогом. Среди его учеников – лучшие умы лингвистики XX в.: А.А. Шахматов, Д.Н. Ушаков, Н.Н. Дурново, А.М. Пешковский и многие другие. Алексей Александрович Шахматов связал историю языка с историей народа, заложил основы текстологии, работал в области этнографии и фольклористики.

Классическая филология в XIX в. отмечена рядом выдающихся имен. Это и Федор Евгеньевич Корш – виднейший востоковед и филолог энциклопедического склада, связавший изучение языка с теорией музыки, стиховедением. Но, пожалуй, самое известное имя, связанное, правда, не только с классической филологией, – это Иван Владимирович Цветаев. Он был первым в России специалистом по итальянским языкам и латинской эпиграфике. Но в историю Московского университета, и в историю вообще, он вошел прежде всего как основатель Музея изящных искусств. Один из крупнейших музеев страны вырос из кабинета изящных искусств Московского университета. Для музея была приобретена богатейшая коллекция копий античной и средневековой скульптуры, в дар была передана имеющая мировое научное значение коллекция памятников древнеегипетского искусства. Так Московский университет не только укрепил и расширил базу для научных исследований, но и внес значительный вклад в развитие русской культуры.

Среди основателей философских научных школ отмечу прежде всего Владимира Сергеевича Соловьева. Соловьевское направление можно считать самой яркой философской школой в дореволюционной России. Среди других выдающихся имен – Иван Александрович Ильин, получивший в

1918 г. за свою диссертацию “Учение Гегеля о конкретности Бога и человека” докторскую степень, минуя магистерскую. Особо значительна роль князя Сергея Николаевича Трубецкого. Выдающийся историк античной философии, он много потрудился для организации Московского университета на принципах свободы научного поиска и автономии. Во время революционных событий 1905 г. он стал первым избранным ректором Московского университета. Судьба отвела ему всего 28 дней ректорства, но эти дни навсегда вошли ярчайшей страницей в историю Московского университета. Он спас много молодых жизней, не пустив студентов на баррикады в те тревожные дни. Университет был для философа научным воплощением и реализацией той “соборной природы человеческого сознания”, о которой написана одна из лучших его философских статей. С.Н. Трубецкой был убежден в том, что “России нужна эта светлая, культурная общественная сила, которая называется университетом, – и что для этой силы все мы, насколько можем, должны работать”. Среди университетских философов следует назвать и Густава Густавовича Шпета, возглавлявшего Институт научной философии при Московском университете.

После воссоздания философского факультета в 1941 г. происходит трудный процесс развития научной философии вопреки идеологическим штампам. Возникают научные школы по логике и истории философии. В Московский университет возвращаются “старые” кадры, получившие образование еще в дореволюционное время: Алексей Федорович Лосев, Валентин Фердинандович Асмус и другие. В этом же ряду по праву стоит академик Сергей Сергеевич Аверинцев, научное творчество которого представляет сплав исторического, филологического и философского знания. Многие годы он работал в созданном в Московском университете Институте мировой культуры.

Истоки психологии в нашей alma Mater восходят к ее основателю – М.В. Ломоносову. В своем “Кратком руководстве к риторике” он провел анализ разнообразных познавательных процессов и страстей человека. “Искусный ритор, – пишет Ломоносов, – при возбуждении и утолении страстей должен стараться, как бы подобные случаи так живо слушателям в слове изобразить, чтобы они предлагаемое дело как перед глазами видели”. Предпринятое Ломоносовым подробное описание и классификация многочисленных страстей, в том числе особенностей их внешнего выражения, причин возникновения, а также советы (правила) по воспитанию страстей можно считать основой первой научной психологической школы. Это направление психологической мысли сегодня повсеместно именуют “школой убеждающей коммуникации”.

Огромное значение для становления и развития научных психологических школ в Московском университете и России в целом оказало созданное при нем Психологическое общество, которое на долгие годы стало центром философской мысли России. Его членами были В.С. Соловьев, В.О. Ключевский, П.Н. Милюков, С.С. Корсаков, В.П. Сербский, Г.И. Россолимо, И.М. Сеченов, Л.Н. Толстой, А.А. Фет и другие. На его заседании в марте 1887 г. с рефератом “О понятии жизни” выступил Л.Н. Толстой.

На этом фундаменте создается Психологический институт, который возглавил видный российский психолог Георгий Иванович Челпанов. Школу института прошел и декан-основатель факультета психологии Алексей

Николаевич Леонтьев. С его именем связан период расцвета университетской психологии. Он создал революционную для своего времени психологическую теорию деятельности, ставшую идейной основой одного из ведущих научных направлений современной психологии. Соратник А.Н. Леонтьева Александр Романович Лурия основал не просто школу, но новую область психологического знания – нейропсихологию. По сей день работы А.Р. Лурия относятся к числу наиболее цитируемых в мировой психологии. И, как знать, может быть, благодаря его работам хирурги в Америке перестали удалять участки мозга, которые, по их мнению, отвечали за агрессию. Среди выдающихся представителей психологической науки в Московском университете назову Петра Яковлевича Гальперина, создателя теории поэтапного формирования умственных действий и понятий, Блюму Вульфовну Зейгарник, Сергея Леонидовича Рубинштейна, Льва Семеновича Выготского – создателя “культурно-исторического подхода” в психологии.

Экономическая наука в Московском университете представлена такими именами, как, например, Александр Иванович Чупров, в круг научных интересов которого входили не только теоретические вопросы политической экономии, но и история экономических учений, отраслевая экономика, статистика, аграрные проблемы. К сегодняшнему дню в Московском университете успешно работают школы таких экономистов, как академик Василий Сергеевич Немчинов, один из основоположников экономико-математического направления, академик Станислав Сергеевич Шаталин, академик Тигран Сергеевич Хачатуров и другие.

Первый русский профессор-правовед Московского университета Семен Ефимович Десницкий стал родоначальником первой научной школы в русской юриспруденции. Он был сторонником применения самых различных методов познания русского права, но важнейшим среди них считал метод исторический. Придавая большое значение изучению истории русского права, Десницкий учитывал, что действовавшее в России законодательство было глубоко укоренено в истории, оно отличалось большой спецификой по сравнению с законодательством западноевропейских стран, которую невозможно было понять, не проследив исторического развития правовых институтов, изменения в ходе истории русского общества содержания юридических понятий и терминов.

В конце XIX в. формируется школа социологической юриспруденции, связанная с именем Сергея Андреевича Муромцева, председателя первой Государственной думы России, проводившего в своих трудах доктрину, согласно которой право создается не только “велениями государства” – “сверху”, но и в процессе развития общественных отношений, то есть “снизу”. Наиболее ярким представителем историко-сравнительного направления в юриспруденции был академик Максим Максимович Ковалевский.

Из приведенного обзора видно, какой огромный вклад внесли ученые-гуманитарии Московского университета и Академии наук в духовную жизнь страны. И сегодня Московский университет делает крупные шаги в развитии гуманитарных наук, отвечая на вызовы времени. Только за последние 10–12 лет в МГУ создано 7 новых факультетов в области гуманитарного знания, десятки новых кафедр, которыми заведуют ученые РАН.

* * *

В истории науки бывали трудные, иногда трагические периоды, содержание которых определялось не столько собственно научными, сколько историческими – политическими, идеологическими – факторами. Вспомним “философский пароход”, борьбу с идеализмом в физике, с “буржуазной генетикой”, кибернетикой, репрессии биологов после известной сессии ВАСХНИЛ. Всегда – и в трудные, и в радостные годы – ученые Академии наук и Московского университета были со своей страной, отдавая ей все свои знания и опыт, своим примером воспитывая молодежь в духе патриотизма и бескорыстного служения науке.

Примеры единства Московского университета и Академии наук многочисленны и разнообразны. Скажу еще об одном. Академия учредила в качестве своих наград Большую золотую медаль им. М.В. Ломоносова, 28 золотых именных медалей и 99 именных премий. Интересно отметить, что из них 9 золотых медалей и 24 премии носят имена выпускников Московского университета, в том числе золотые медали им. В.А. Энгельгардта, Н.Е. Жуковского, Л.С. Берга, М.В. Келдыша, М.А. Лаврентьева. Еще 23 награды – медали и премии – носят имена профессоров, работавших в университете практически всю жизнь. Это В.И. Вернадский, Н.Д. Зелинский, Л.А. Арцимович, А.Н. Белозерский. В целом 56 высших наград академии, то есть почти половина их общего числа, своими именами связаны с Московским университетом.

Наша наука столь богата достижениями и славными именами, что в рамках одного доклада невозможно упомянуть их все. Я рассказал об основоположниках научных школ, не говоря подробно о трудах современных выдающихся ученых, которые продолжают традиции своих великих учителей и составляют сегодняшнюю славу Академии наук и Московского университета. Их вклад уже сегодня занимает достойное место в истории российской науки. Изданный Московским университетом биографический словарь “Ученые Московского университета – действительные члены и члены-корреспонденты Российской академии наук (1755–2004)” – попытка внести лепту в создание такой летописи.

В своем докладе я говорил в основном о славной истории университетской науки. Ее будущее – в руках молодых. Университет развернул широко-масштабную программу поддержки научной молодежи. Это и сотни молодых докторов и кандидатов наук, ставших за последние 12 лет профессорами и доцентами в рамках специальной программы “100 + 100”. Это и ежегодные 100 стипендий для молодых талантливых преподавателей и научных сотрудников. Это и программа “постдоков”, позволяющая оставить для работы в университете молодых талантливых ученых.

Московский университет все время в поиске новых форм организации науки и поддержки научных исследований. Уже несколько лет мы проводим конкурс грантов для выполнения междисциплинарных научных проектов, в которых совместно работают ученые разных специальностей. Все эти программы – и поддержка молодежи, и междисциплинарные исследования – университет осуществляет за счет своих внебюджетных средств, которые заработали наши преподаватели.

Достижения отечественных ученых – это в то же время достижения университетского образования, постоянно питающегося живой научной мыслью. И если МГУ занимает сейчас лидирующие позиции в мировом образовательном пространстве, то во многом это происходит благодаря его интеграции с Российской академией наук. Связь Московского университета с Академией наук – залог успешного развития фундаментальной науки и фундаментального образования в России. Именно это наше национальное достояние во многом определяет авторитет нашего государства в мире.

Все мы, находящиеся в этом зале, гордимся достижениями отечественных научных школ. Именно такой высокий уровень науки и образования позволил нашей стране успешно развиваться, отстаивая свою безопасность. Сегодняшнее время снова оказалось непростым для российской науки и образования. Безусловно, накопленные десятилетиями проблемы требуют своего решения. Безусловно, мы обязаны трудиться более эффективно. Безусловно, мы обязаны все вместе сделать так, чтобы на мировом рынке высокотехнологичной продукции наша страна заняла достойное место. Мы обязаны добиться того, чтобы подготовленные нами по уникальным учебным программам молодые специалисты оставались работать в стране. Для этого необходимо решить всего три проблемы: обеспечить им достойную заработную плату, установить новое оборудование в лабораториях и заставить эффективно работать ипотечную систему кредитования жилья. Об этом шла речь и на двух последних заседаниях Совета по науке при Президенте Российской Федерации. Мы уверены, и об этом говорил наш президент В.В. Путин, что эти задачи будут обязательно решены.

Однако, как известно, отстраивать то, что разрушено, труднее, чем создавать новое. Поэтому наука и образование в нашей стране не должны быть полигоном для непродуманных, непрофессионально поставленных экспериментов. Мне кажется, пора признать тот уже давно установленный факт, что любые реформы науки имеют успех только тогда, когда они разрабатываются с участием научной корпорации и в итоге принимаются ею. Целью этих реформ должна быть безусловная поддержка государством фундаментальной науки, Российской академии наук, поддержка тех сложившихся национальных университетских центров, где готовятся конкурентоспособные специалисты, обладающие фундаментальными знаниями. Давайте это прием как руководство к действиям. А потенциал Российской академии наук, Московского университета, университетского сообщества столь велик, что наша страна обязательно будет, обязана быть великой научной державой.

Сегодняшнее заседание – совместная научная сессия Общего собрания Российской академии наук и Ученого совета МГУ, посвященная 250-летию Московского университета, – событие уникальное. Юбилей университета – знаменательная веха в истории образования и науки в нашей стране. Президент Российской Федерации В.В. Путин издал специальный Указ о праздновании юбилея. Развернута широкая программа подготовки к предстоящему 250-летию МГУ.

Университет встречает свой юбилей выдающимися достижениями и масштабными делами, самое значительное из которых – это, пожалуй, освоение новой территории. Построена новая Фундаментальная библиотека МГУ, которая станет настоящим интеллектуальным, культурно-просветительским

центром. По своей оснащенности и технологической сложности библиотека превосходит многие масштабные сооружения Москвы последних лет. Она рассчитана на 5 млн томов, в ней несколько читальных залов, большие залы для заседаний, музей истории университета. Торжественное открытие этого здания намечено на 25 января 2005 г. У входа в библиотеку – памятник Шувалову, прямо напротив памятника Ломоносову. Так через 250 лет встречаются отцы-основатели Московского университета.

Рядом с библиотекой строятся два новых учебных корпуса и университетский лечебный и исследовательский медицинский центр, в котором будут сосредоточены последние научные достижения медицины XXI в. Грандиозное новое строительство по своему масштабу сопоставимо с возведением комплекса зданий университета на Ленинских горах 50 лет назад и, безусловно, означает начало нового этапа в жизни Московского университета.

В преддверии юбилея в университете издается серия “Классический университетский учебник”, состоящая из 250 книг, среди авторов которых – профессора Московского университета и члены Академии наук.

В январе в Государственном историческом музее – что символично, ибо на его месте было первое здание Московского университета, – откроется выставка, посвященная 250-летию МГУ.

Юбилей МГУ выходит за пределы планеты. На карте звездного неба теперь есть малая планета, которой присвоено имя Московского университета. В январе состоится запуск научно-образовательного университетского спутника “Татьяна”, на котором будет установлено оборудование, сделанное специалистами Московского университета.

Накануне юбилея происходит масштабное переоснащение университета самым современным оборудованием, первая партия которого уже установлена. Мы создаем центры коллективного пользования, в которых будут проводиться совместные научные исследования. Это – хорошая основа для дальнейшей интеграции Московского университета и Академии наук.

Прежде чем завершить свой доклад, я хотел бы выразить уверенность, что наше совместное заседание станет важной вехой в истории сотрудничества Московского университета и Российской академии наук. В сегодняшних докладах и обсуждениях на “круглых столах” будут высказаны важные мысли о будущем науки и образования в нашей стране. Кто, как не мы с вами, чувствуем ответственность за их судьбу, понимаем существо проблем и можем многое сделать для их решения.

Всех нас, сидящих в этом зале, объединяет великая сила – любовь к науке. Прочитирую еще раз Ломоносова:

Науки юношей питают,
Отраду старым подают,
В счастливой жизни украшают,
В несчастный случай берегут;
В домашних трудностях утеха
И в дальних странствах не помеха.
Науки пользуют везде,
Среди народов и в пустыне,
В градском шуму и наедине,
В покое сладки и в труде.

О ВОЗМОЖНЫХ ПУТЯХ ИНТЕГРАЦИИ АКАДЕМИЧЕСКОЙ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

*Вице-президент РАН
академик В.В. Козлов*

Задача интеграции науки и образования в России была сформулирована 280 лет назад при создании Академии наук. В указе Петра I сказано: "... Учинить Академию, в которой бы учились языкам, также прочим наукам и знатным художествам, и переводились бы книги... На содержание оных определить доходы, которые собираются с городов Нарвы, Дерпта, Пернова и Аренсбурга, таможенных и лицензионных 24 912 рублѣв... Оные доходы собирая, содержать их в Рентереи, из которых отпускать в Академию по указам из Сената, а кроме того ни на какие расходы не употреблять..."

Однако этот идеальный план Петра I не был осуществлен в полном объеме. В составе Академии наук был учрежден Академический университет, который, к сожалению, проработал недолго. Реальный и мощный импульс развития высшего образования в нашей стране связан с созданием Московского университета, чей 250-летний юбилей мы все будем скоро отмечать.

В силу известных исторических традиций наука и высшее образование в нашей стране развивались формально независимо, но на самом деле отнюдь не изолированно друг от друга, как это иногда пытаются представить.

Перечислю основные цели и задачи нынешнего этапа интеграции науки и образования:

- подготовка кадров для науки и высоких технологий;
- использование образовательного потенциала Академии наук и других академий;
- стимулирование научных исследований в ведущих университетах;
- концентрация усилий академической и вузовской науки на приоритетных направлениях;
- совместное использование дорогостоящего уникального оборудования, в том числе для обучения студентов и аспирантов.

Вопрос о подготовке научных кадров подробно обсуждался на заседании Президентского совета по науке и технологиям в феврале 2004 г. Академические институты и университеты накопили большой позитивный опыт такой работы.

Более 100 членов РАН постоянно работают в различных учебных институтах и университетах и около 700 ведут преподавательскую и научную работу в вузах по совместительству.

Новое время и новые условия ставят задачу поиска новых и эффективных форм такой интеграции. Можно выделить несколько уровней взаимодействия университетов и академических институтов.

Прежде всего это университеты, которые осуществляют свою деятельность в институтах РАН: Пушинский госуниверситет и Государственный университет гуманитарных наук.

Пушинский государственный университет ведет подготовку биологов по магистерским программам. Среди его студентов много иногородних. Развитие университета сдерживает отсутствие собственных общежитий для студентов.

Государственный университет гуманитарных наук основан в 1994 г. В настоящее время деятельность факультетов университета осуществляется на базе академических институтов гуманитарного профиля, а по количеству привлеченных к преподаванию крупных ученых-исследователей, в том числе академиков РАН, специалистов в самых различных областях гуманитарных знаний университет не имеет аналогов в системе гуманитарного образования в России. В университете восемь факультетов, на которых обучаются около 1000 студентов и около 200 аспирантов, ведется переподготовка преподавателей гуманитарных и социальных наук, работающих в вузах страны.

На базе Пушинского научного центра РАН и Научного центра РАН в Черноголовке созданы филиалы МГУ им. М.В. Ломоносова. Филиал МГУ в Пушкино ведет набор студентов, начиная с первого курса.

На базе Института государства и права РАН с 1993 г. действует Академический правовой университет, получивший в 1998 г. государственную аккредитацию и осуществивший уже несколько выпусков студентов дневного отделения.

В 1992 г. на базе Центрального экономико-математического института РАН совместно с МГУ была создана Российская экономическая школа, которая в течение семи лет ежегодно выпускает по 35 магистров и осуществляет переподготовку преподавателей базовых экономических дисциплин для всех регионов России. Высший химический колледж на правах факультета Российского химико-технологического университета готовит для академии кадры аспирантов и сотрудников. В 1991 г. в этом университете совместным постановлением Госкомитета СССР по народному образованию и Президиума АН СССР был создан высший колледж для подготовки специалистов, способных к проведению работ в смежных отраслях – химии, физики, механики материалов. В 2000 г. колледж преобразован в факультет наук о материалах.

В 1996 г. совместным решением Ученого совета МГУ и Президиума РАН создан Институт почвоведения МГУ и РАН для интеграции совместных достижений университетской академической науки в области почвоведения и смежных отраслей знания.

В сентябре 2004 г. в МГУ начала работать Московская экономическая школа на правах факультета. Директор-организатор школы – вице-президент РАН академик А.Д. Некипелов. Профессора и преподаватели школы – это в основном сотрудники наших академических институтов. Московская экономическая школа начала с элитной подготовки экономистов по магистерским программам.

По инициативе МГУ, Российского научного центра “Курчатовский институт” и Института кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН создается Междисциплинарный научно-образовательный комплекс синхротронного излучения и технологий.

В ноябре 2002 г. по предложению Санкт-Петербургского научного центра Президиум РАН создал Академический физико-технологический универси-

тет и назначил ректором-организатором академика Ж.И. Алферова. Университет работает на базе Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, который знаменит не только своими научными достижениями, но и давними традициями и успехами в сфере образования. Академический физико-технологический университет не государственный, но имеет государственный статус (как и РАН в целом). Этот нюанс затрудняет работу университета из-за необходимости постоянного поиска бюджетных средств. Ведь понятно, что элитную подготовку современных физиков нельзя вести на коммерческой основе.

Хорошо известна роль Сибирского отделения Российской академии наук в организации Новосибирского госуниверситета и его всесторонней поддержке. По сути это академический университет, полностью интегрированный в научное сообщество академгородка. Он является ядром реально действующей системы непрерывного образования: известная физико-математическая школа, Новосибирский государственный университет, институты СО РАН. Студенты подключаются к процессу научного поиска уже с третьего курса. Этот относительно небольшой университет сформировал 40% кадров СО РАН, обеспечил высокопрофессиональными преподавателями вузы страны от Урала до Владивостока.

В ряде академических институтов созданы крупные научно-образовательные центры, нацеленные на подготовку специалистов по различным направлениям современной фундаментальной науки. Это научно-образовательный центр Физико-технического института в Санкт-Петербурге, учебно-научные центры Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии, Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН и др.

Активное и многостороннее научно-образовательное взаимодействие является традицией Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского и институтов РАН в Нижнем Новгороде. Это Институт прикладной физики, Институт физики микроструктур, Институт химии высокочистых веществ, Институт металлоорганической химии. В 2001 г. в целях институционализации сотрудничества был создан Нижегородский объединенный учебно-научный центр университета и институтов Российской академии наук в организационно-правовой форме простого товарищества. В Институт прикладной физики РАН еще раньше был “встроен” уникальный факультет Нижегородского университета – Высшая школа общей и прикладной физики.

В 2003 г. создан Научно-образовательный центр экономики и информационных технологий в Вологде, образованный Вологодским научно-координационным центром, Санкт-Петербургским инженерно-экономическим университетом и Вологодским государственным техническим университетом.

Совместным решением Министерства образования и Президиума РАН в феврале 2004 г. создано государственное учреждение Научно-образовательный центр проблем аэрокосмического мониторинга природной среды – “Аэрокосмос”. Институтами РАН совместно с вузами создано свыше 40 крупных научно-образовательных интегрированных структур только по Центральному округу.

Ключевое значение имеют интегрированные структуры – базовые кафедры и филиалы кафедр известных российских университетов, ведущих под-

готовку молодых ученых непосредственно в институтах РАН. Эта традиция восходит к советскому времени. Сейчас имеются 360 базовых кафедр, на которых работают 4 тыс. сотрудников академических институтов. За последние три года количество студентов, обучающихся и специализирующихся на базовых кафедрах, неуклонно росло. Если в 2000 г. по Центральному региону было 6 тыс. студентов, то в 2004 г. – 24 тыс. Такое резкое увеличение числа студентов на базовых кафедрах связано в основном с внедрением программы Президиума, нацеленной на поддержку молодых ученых. По сути дела, это распределенный академический университет, причем немалый по российским масштабам. На базовых кафедрах читаются общие и специальные курсы, многие из них уникальные, проводятся лабораторные практикумы на учебно-научном оборудовании институтов, под руководством сотрудников институтов выполняются курсовые и дипломные работы. Это “физтеховская” модель обучения, и неудивительно, что именно Московский физико-технический институт (ныне Технический университет) имеет наибольшее число базовых кафедр – 57. Они созданы в 49 институтах РАН. Соединение университетского образования с участием в научных исследованиях, проводимых академическими институтами, позволяет повысить качество обучения студентов, не привлекая дополнительных средств для организации дорогостоящей материально-технической базы.

Со следующего года Федеральная целевая программа “Интеграция высшего образования и науки России на 2002–2006 годы” будет включена в более общую программу Министерства образования и науки “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники”.

Программа “Интеграция” внесла важный вклад в решение проблемы подготовки кадров высшей квалификации, поддержки одаренной молодежи, развития опытно-экспериментальной приборной базы. Ядром и несущей конструкцией программы является система учебно-научных центров. Всего их 150, в основном они созданы на базе научных учреждений РАН и государственных вузов России.

В рамках Федеральной целевой программы “Интеграция” Московский государственный университет взаимодействует с 43 академическими институтами, которые сгруппированы по направлениям исследований. Санкт-Петербургский государственный университет – с 23 институтами РАН. Новосибирский государственный университет сотрудничает с 23 институтами СО РАН. Новосибирский государственный технический университет – с 10 институтами СО РАН. Уральский государственный университет работает с 13 институтами Уральского отделения РАН. Томский государственный университет – с 13 институтами РАН (в основном, из Сибирского отделения). Московский инженерно-физический институт работает с 11 институтами. Дальневосточный государственный университет взаимодействует с 8 институтами Дальневосточного отделения РАН. Иркутский государственный университет – с 7 институтами СО РАН. Нижегородский государственный университет – с 7 институтами РАН. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана – с 4 институтами. Казанский государственный университет, который в этом году отметил свой 200-летний юбилей, тесно сотрудничает со всеми институтами Казанского научного центра нашей академии.

Помимо вышеупомянутых структур существуют и другие образовательные структуры (центры коллективного пользования, лаборатории, международные учебно-научные центры, студенческие научно-исследовательские лаборатории и т.д.). Сейчас насчитывается 40 подобных объединений. На недавнем выездном заседании бюро Совета РАН по координации деятельности региональных отделений и региональных научных центров РАН в Казани говорилось о необходимости создания и поддержки центров коллективного пользования с технологическим оборудованием для развития инновационной и образовательной деятельности.

Можно сказать, что механизмы поиска и подготовки талантливой молодежи в основном отработаны. Гораздо более острой является проблема ее закрепления в науке, главным образом из-за низкой заработной платы и невозможности получить жилье. Зачастую мы не можем зачислить способных молодых людей в штат академического института и из-за того, что очень трудно отправить заслуженных пожилых ученых на достойную пенсию. Нельзя решить проблему научной молодежи, не увязывая ее с решением проблемы пожилых ученых. Это очень важный и одновременно очень сложный круг вопросов. Они имеют принципиальное значение, и от их правильного решения многое зависит.

В настоящее время возобновлена работа по совершенствованию структуры академии, приступила к работе созданная Президиумом РАН Комиссия по реструктуризации. Напомню, что на первом этапе реструктуризации сети научно-исследовательских институтов сокращено около 50 юридических лиц. Предстоящие преобразования нацелены прежде всего на повышение эффективности фундаментальных исследований, рост заработной платы научных сотрудников, занятых в таких исследованиях. Существенный резерв – усиление эффективности работы с имуществом РАН. Вряд ли сейчас надо все это обсуждать более подробно. Предстоит серьезная совместная работа Комиссии по совершенствованию структуры РАН, отделений РАН, региональных отделений и региональных научных центров.

В вопросе о снятии институциональных барьеров между наукой и образованием часто ссылаются на опыт западных стран, где наука якобы сосредоточена исключительно в университетах. Но, во-первых, это не соответствует действительности, – достаточно упомянуть Германию и Францию, где имеются аналоги нашей академии с развитыми сетями исследовательских институтов. Во-вторых, несмотря на наличие ряда университетов мирового класса, научный потенциал отечественного университетского сообщества, к сожалению, пока сильно уступает потенциалу академии. Поэтому в настоящее время вряд ли целесообразно передавать академические институты в структуру университетов. Эти вопросы, если они возникнут, мы вполне можем урегулировать в рабочем порядке на втором этапе реструктуризации сети институтов РАН.

Такой же характер носит и вопрос о включении в состав академии государственных университетов. Собственно, сейчас речь идет о Новосибирском государственном университете, который с самого своего основания теснейшим образом связан с институтами СО РАН. Министерством образования и науки подготовлено распоряжение в Правительство РФ о возложении на Российскую академию наук полномочий учредителя Ново-

сибирского государственного университета с передачей СО РАН предусмотренных в федеральном бюджете ассигнований на содержание этого госуниверситета.

Включение Новосибирского госуниверситета в структуру РАН влечет за собой принципиальные качественные изменения. В академии официально появляются студенты, бакалавры, магистры, ассистенты, доценты и профессора. Расширяется сфера деятельности РАН, возникают трудовые отношения нового для нас вида. И к этому мы должны подготовиться не только морально. Необходимо уже сейчас продумать вопрос о внесении соответствующих изменений в уставы СО РАН и Российской академии наук в целом. Мы должны внимательно отслеживать процесс вхождения НГУ в СО РАН, анализировать возникающие изменения и возможные затруднения. Все это имеет исключительное значение для расширения и распространения опыта Сибирского отделения нашей академии.

Российскую академию наук следует законодательно наделить правом ведения образовательной деятельности с выделением соответствующего финансирования. Одновременно следует закрепить законодательно и право ведения научных исследований в вузах. Было бы очень желательно, чтобы наряду с этим Министерство образования и науки завершило вместе с нами работу по нормативно-правовому обеспечению деятельности уже существующих интеграционных структур. Например, в нормативно-правовых актах по образованию до сих пор отсутствует упоминание о базовых кафедрах. Напомню, что в советское время было специальное положение о базовой кафедре, утвержденное Министерством высшего и профессионального образования. Наверное, стоит шире внедрять симметричную идею базовой лаборатории академического института в высшем учебном заведении. Мы передали в Министерство образования и науки для рассмотрения проекты положений о научно-образовательных (соответственно, учебно-научных) центрах в академических институтах (соответственно, университетах).

Вопросам интеграции науки и высшего образования придается существенное значение в подготовленных недавно Министерством образования и науки концепциях участия Российской Федерации в управлении государственными секторами науки и образования. Среди научной и образовательной общественности распространилось представление, будто государство намерено прямолинейно администрировать эту сферу, не считаясь с ее спецификой и традициями. В частности, интеграция государственных вузов и научно-исследовательских институтов воспринимается многими как формальное слияние учреждений исключительно ради экономии средств.

Между тем суть интеграции состоит не в смене вывесок и объединении менеджмента, а в формировании устойчивых взаимосвязей между научной и образовательной деятельностью прежде всего на основе проектного финансирования, управления и стимулирования взаимодействия. В нынешних условиях решение задачи интеграции науки и высшего образования означает налаживание эффективного и устойчивого взаимодействия университетов с академическими институтами, с исследовательскими центрами отраслевой направленности, а также с предприятиями, выпускающими наукоемкую и

высокотехнологичную продукцию. Поэтому вместо умозрительной идеи институциональной интеграции, не учитывающей отечественные традиции в развитии науки и образования, целесообразно использовать уже накопленный опыт широкой и глубокой функциональной интеграции университетов и исследовательских структур.

Представленные концепции были существенно скорректированы и доработаны с участием руководства Российской академии наук и Российского союза ректоров. В новом варианте выделены особенности управления имущественными комплексами РАН и отраслевых академий наук, имеющих государственный статус. В частности, подчеркивается, что главным центром фундаментальных исследований страны является Российская академия наук. Наряду с генерацией новых знаний ее важнейшей функцией должны стать координация фундаментальных научных исследований, ведущихся в отраслевых академиях, в высшей школе, государственных научных центрах, а также экспертная деятельность в отношении важнейших для страны проектов, в том числе в области государственного строительства и экономики.

В поле зрения РАН постоянно находятся проблемы средней школы. Это традиция, которая всегда была присуща Российской академии наук и вузовскому сообществу. В значительной степени высокий уровень образования, который до сих пор характерен для нашей страны, связан с этим обстоятельством.

На заседаниях Президиума РАН и Комиссии РАН по школьному образованию неоднократно обсуждались вопросы разработки и введения Государственных образовательных стандартов и Единого государственного экзамена. Ученые высказали конструктивные критические замечания и принимали участие в работе по доработке Государственного образовательного стандарта. Что касается Единого государственного экзамена, то наша позиция в этом вопросе полностью согласуется с позицией МГУ: этот вид испытаний не должен быть единственным при приеме талантливой молодежи в высшие учебные заведения.

В соответствии с поручением В.В. Путина Российская академия наук подготовила предложения по улучшению положения дел с учебниками для средней школы. В частности, создана и готова приступить к работе Экспертная комиссия РАН по анализу и оценке научного содержания Государственных образовательных стандартов и учебной литературы для высшей и средней школы. Сейчас готовится новое положение об экспертизе учебников с соответствующими грифами. Мы надеемся, что эта работа будет скоро завершена.

Российская академия наук вместе с Российской академией образования и издательством “Просвещение” приступила к реализации проекта по созданию нового поколения учебников для средней школы. Эффективно работает Комиссия Президиума РАН по образованию, которую возглавляет ректор МГУ академик В.А. Садовничий.

В заключение кратко перечислю наши предложения по системной интеграции науки и образования, озвученные на состоявшемся в октябре 2004 г. первом заседании Совета при Президенте Российской Федерации по науке, технологиям и образованию.

1. В виде пилотного проекта можно создать несколько крупных научно-образовательных комплексов с участием институтов РАН и ряда ведущих университетов. Необходимо объявить конкурс на создание таких крупных научно-образовательных комплексов.

2. Многие академические институты уже сейчас готовы вести не только подготовку кандидатов наук, чем институты успешно занимаются многие десятки лет, но и качественную подготовку магистров по широкому спектру науки и высоких технологий. Следует завершить работу по нормативно-правовому обеспечению этой деятельности.

3. Аспирантуру и докторантуру в области фундаментальных наук, наверное, целесообразно сосредоточить в основном в институтах РАН и относительно небольшом числе ведущих университетов.

За последние 10 лет численность аспирантуры в вузах неоправданно выросла в 3.3 раза и достигла 120 тыс. человек. Замечу, что рост аспирантуры в научно-исследовательских институтах за тот же период составил всего 25%. Докторантура в вузах увеличилась в 4 раза, а в научно-исследовательском секторе осталась без изменений. Приведенные цифры могут, на мой взгляд, свидетельствовать о снижении планки требований к кадрам высшей квалификации.

Надо шире привлекать ученых академических институтов к экспертизе образовательной деятельности вузов. Сейчас многие такие вопросы решаются учебно-методическими объединениями, то есть исключительно внутри вузовского сообщества. Взгляд со стороны был бы очень полезен, особенно в регионах, где имеются региональные академические научные центры.

Собственно, первые шаги в этом направлении мы уже делаем вместе с Министерством образования и науки. В конце ноября 2004 г. по предложению Министерства образования и науки Российская академия наук как независимый экспертный орган осуществила экспертизу заявок по ведомственной научной программе “Развитие научного потенциала высшей школы”. В организационном плане эта работа проведена Отделом по интеграции науки и образования Президиума РАН совместно с отделениями РАН. К экспертизе были привлечены 320 научных сотрудников нашей академии. В недельный срок были рассмотрены 3400 проектов, выдано 6800 экспертных заключений.

По итогам экспертизы Министерство образования и науки оценило этот опыт как очень успешный.

Наверное, стоит еще раз вернуться к идее создания Академической ассоциации университетов, с которыми налажена тесная и многогранная работа академических институтов. К сожалению, мы не успели реализовать эту идею с Министерством образования. Теперь, когда у нас есть интегрированное, так сказать, Министерство образования и науки, создание такой ассоциации представляется вполне естественным.

И в заключение я хочу сказать вот о чем. Наверное, нам надо больше внимания уделять пропаганде достижений российской науки и высшего образования и для этого использовать такие замечательные поводы, как предстоящее празднование 250-летнего юбилея нашего выдающегося Московского государственного университета.

50 ЛЕТ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Академик О.Н. Крохин

Оглядываясь на 50 лет назад, особенно остро осознаешь, что открытие физических принципов квантовой электроники – одно из самых выдающихся достижений науки прошедшего века, придавшее значительный импульс развитию современной цивилизации. Венцом этого достижения, безусловно, является создание в 1960 г. лазера – источника высококогерентного оптического излучения*.

Исключительное многообразие лазеров, классифицируемых, например, по агрегатному состоянию активной среды: газовые, твердотельные (полупроводниковые, кристаллические и на основе стекол), жидкие; по методам возбуждения: “накачки” электрическим током, оптическим излучением, тепловым возбуждением, а также по методам технической реализации, предопределило необычайно широкое их применение в различных областях техники. Многие из того, что в те сравнительно недалекие годы казалось невероятным и вызывало иронические улыбки скептиков, в том числе и физиков, уже стало привычным, не вызывающим удивления.

Приведу результаты, полученные в области квантовой электроники и лазерной физики, которые, с моей точки зрения, являются наиболее значимыми, хотя я, конечно, отдаю себе отчет в том, что этот перечень не может быть исчерпывающим. В нем есть достижения как практического, прикладного плана, так и научного, которые еще ждут своего практического осуществления.

- *Глобальная система оптоволоконной связи.* В настоящее время можно считать освоенной емкость одного оптоволоконного канала до 10^{10} бит/с, что позволяет передавать одновременно около 10 тыс. телевизионных программ. Следует подчеркнуть, что имеются большие резервы повышения скорости передачи за счет усовершенствования технических средств. По-видимому, можно утверждать, что в будущем оптические линии связи полностью удовлетворят потребности общества в информационном обмене.

- *Стандарты частоты-времени.* Современные способы стабилизации частоты генерации электромагнитных колебаний лазера дают возможность фиксировать частоту этих колебаний с относительной точностью 10^{-15} . Это соответствует такой же точности в измерении временных промежутков, например, такие “часы” дают ошибку во времени, равную 1 с за интервал 10^{15} с, то есть за 100 млн лет. Близка к решению задача переноса этой точности в СВЧ-диапазоны, на которых работает Служба времени.

- *Генерация сверхкоротких световых импульсов.* Специально разработанные лазерные системы с широкополосным спектром способны генерировать световые импульсы с минимальной длительностью 4×10^{-15} с. Импульс имеет пространственную протяженность, равную одной длине волны – примерно 1 мкм. Такие импульсы позволяют “фотографировать” сверхбыстрые атом-

* Оптический диапазон включает в себя инфракрасное излучение (длины волн от 10 до 0.7 мкм), видимое (0.7–0.3 мкм), ультрафиолетовое (0.3–0.01 мкм). Граница между этими спектральными участками весьма условна.

но-молекулярные процессы, например, протекание химических реакций, а также получать сверхвысокие плотности световой мощности при фокусировании излучения в малые объемы.

- *Лазерное охлаждение атомов*, находящихся в газовом состоянии. Суть этого процесса состоит в том, что небольшое количество атомов, захваченных в так называемую “ловушку” и имеющих первоначально тепловые скорости, соответствующие нормальной температуре, облучаются со всех сторон лазерным излучением, частота которого соответствует резонансному квантовому переходу. При этом частота излучения должна быть настроена таким образом, что поглощение имеет место только для атомов, движущихся навстречу лазерному лучу (из-за эффекта Доплера). При поглощении света передается импульс фотона, то есть происходит торможение. Далее атом вернется в основное состояние, и процесс будет продолжен. Таким способом удалось охладить атомы до температуры порядка 10^{-9} К и экспериментально изучить квантово-статистические закономерности в поведении ансамбля частиц (конденсация Бозе–Эйнштейна).

- *Полупроводниковые лазеры*. В практическом освоении новых возможностей, предлагаемых квантовой электроникой, полупроводниковые (“диодные”) лазеры играют особую роль. Это связано с тем, что в них имеет место прямое преобразование электрического тока в свет и, как следствие этого, они обладают высокой эффективностью – КПД, достигающей 70%. Кроме того, они компактны, и в последние годы удалось существенно повысить их мощность – почти до 20 Вт с одного диода. Среди изделий квантовой электроники диодные лазеры доминируют по объемам продаж и особенно по номенклатуре. Они широко применяются в системах оптической связи, устройствах записи–воспроизведения информации на различного типа компактных дисках, в принтерах, дальномерах, измерителях скорости, системах наведения высокоточного оружия и т.д. В последние годы диодные лазеры используются в качестве эффективных источников накачки кристаллических, стеклянных и волоконных лазеров, что буквально привело к революции в лазерной технике. Появилась возможность создавать мощные технические комплексы для крупномасштабного машиностроения. Таким образом, создание современных диодных лазеров позволило преодолеть основную трудность для широкого применения лазерной техники – низкий КПД.

- *Высокоэффективные технологические лазерные комплексы с “диодной накачкой”*. Они уже внедрены в автомобильную промышленность, самолетостроение, вагоно- и судостроение. Например, на заводах фирмы “Фольксваген” задействовано около 600 сварочных лазерных установок. Лазерная сварка имеет ряд существенных преимуществ: более высокую точность, ровность и чистоту сварного шва, отсутствие большой зоны прогрева и, следовательно, деформации. Она эффективна и для изготовления “композитных” заготовок в машиностроении, например, листового проката, состоящего из разнотолщинных листов или материалов с разными механическими характеристиками. Лазеры находят также широкое применение при раскрое листового материала, в том числе и текстиля, сверлении тонких отверстий (например, в инжекторах двигателей), очистке поверхностей, быстрой и высококачественной резке стекла и т.д.



Рис. 1. Нобелевские лауреаты по физике 1964 г. (слева направо): А.М. Прохоров, Ч. Таунс, Н.Г. Басов в Физическом институте. Октябрь 1965 г.

- *Запись и хранение информации большого объема.* Сейчас, по-видимому, нет таких людей, которые не знали бы, что такое компакт-диск – “CD”. Огромное множество этих изделий реализуется в торговой сети, начиная от обычных музыкальных дисков до носителей видео, графической и текстовой информации колоссального объема. Я хотел бы здесь только подчеркнуть, что подобная техника развивается и совершенствуется буквально у нас на глазах. Это связано с огромными потенциальными возможностями технологии, пока еще полностью не освоенными. Переход к более коротковолновым лазерам (синий участок спектра) на диодах из нитрида галлия приведет к реализации еще большей плотности записи, а осуществление многослойной записи на нескольких различных длинах волн еще более повысит плотность записи информации и скорость ее считывания.

- *Активные системы точного позиционирования, локации, высокоточного оружия.* Лазеры позволяют создавать активные дальномеры, определители скорости движения объектов, локаторы. Все они, как и системы активного наведения реактивных снарядов, безусловно, находят свое место в военной технике.

- *Лазеры для медицины.* Широкое внедрение эндоскопической техники делает возможным использование лазеров для полостных операций различного плана. Во многих случаях применение этой техники дает хорошие результаты. Другая область использования лазеров – офтальмология, где лазеры стали стандартным инструментом для оперативного лечения глазных болезней.

- *Стимулирование термоядерных реакций.* Применение лазеров для решения проблем термоядерного синтеза остается пока на научно-исследовательской стадии. Основная научная проблема заключается в поисках путей

преодоления газодинамических неустойчивостей, которыми сопровождаются сжатие и нагрев небольших количеств изотопов водорода – смеси дейтерия и трития. Первопричиной технических трудностей в решении этой задачи является низкий КПД лазерных установок. Представляется, что с переходом на “диодную накачку” трудности могут быть устранены, однако стоимость проекта (при современном уровне технологии) может оказаться большой, поскольку “термоядерный” лазер, в отличие от технологического, должен развивать огромную импульсную мощность. Есть надежда, что быстрое развитие лазерной техники и параллельный поиск более эффективных методов “зажигания” термоядерного “топлива” приведут в будущем к решению этой задачи.

Я уже упоминал, что предложенный мной перечень наиболее ярких (по моему мнению) примеров реализации идей квантовой электроники в науке и практике, безусловно, не может быть полным. С другой стороны, не имеет смысла заметно увеличивать его (вопрос: где остановиться?), поскольку за излишней детализацией всегда кроется опасность нагнать скуку на читателя.

Поскольку мой доклад посвящен 50-летию юбилею квантовой электроники, необходимо вернуться в то время, когда это замечательное открытие состоялось, и попытаться восстановить историю событий, закончившихся выдающимся результатом.

В 1964 г. Нобелевский комитет по физике присудил премию Н.Г. Басову, А.М. Прохорову и Ч. Таунсу (рис. 1) за “фундаментальную работу в области квантовой электроники, которая привела к созданию генераторов и усилителей, основанных на принципах мазеров и лазеров”. Премию разделили на две равные части (одна половина – Н.Г. Басову и А.М. Прохорову, другая – Ч. Таунсу). Может быть, здесь сразу же уместно заметить, что в последующие годы Нобелевской премии трижды были удостоены работы, связанные с квантовой электроникой. В 1981 г. лауреатами стали Н. Бломберген и А. Шавлов за исследования в области лазерной спектроскопии; в 1997 г. – С. Чу, К. Коэн-Таннуджи и У.Д. Филипс за развитие лазерных методов охлаждения атомов; в 2000 г. – Ж.И. Алферов за разработку гетероструктур, в том числе для полупроводниковых диодных лазеров.

Итак, в начале 1950-х годов в Лаборатории колебаний им. Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси Физического института им. П.Н. Лебедева (ФИАН) по инициативе А.М. Прохорова начались спектроскопические исследования молекул в радиочастотном диапазоне электромагнитного излучения. Пришедший в ФИАН незадолго до окончания Московского инженерно-физического института Н.Г. Басов активно включился в работу. Радиоспектроскопия в то время представляла собой новое, быстро развивающееся направление физики, в котором работали несколько групп ученых в разных странах, среди которых, в первую очередь, следует назвать группу Ч. Таунса в Колумбийском университете США. Цель радиоспектроскопии – изучение структуры молекул. С какими особенностями и, следовательно, проблемами столкнулись пионеры радиоспектроскопии?

Предметом исследований в радио диапазоне являются квантовые переходы между вращательными уровнями молекул (рис. 2, 3). Частоты этих переходов, например, для молекул аммиака, лежат в области субмиллимет-

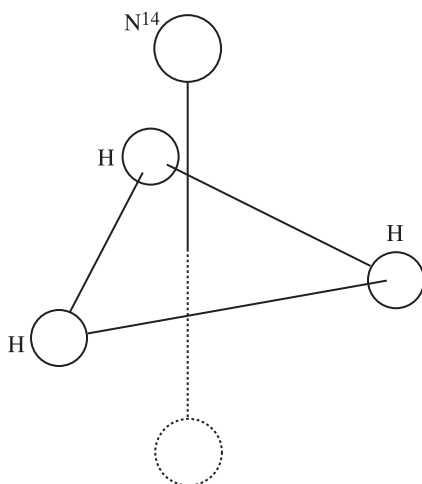


Рис. 2. Структура молекулы аммиака (NH_3)

Вертикальная ось соответствует оси вращения молекулы, которое образует вращательные квантовые уровни; атом азота может перескакивать, из верхнего в нижнее (пунктир) положение и обратно (“инверсия”), что приводит к расщеплению каждого вращательного уровня на два подуровня, между которыми может происходить переход с поглощением или индуцированным излучением, используемым в мазере

рового диапазона длин волн (максимальное значение энергии кванта составляет 2×10^{-3} эВ, $\lambda \sim 0.5$ мм). Так как энергия кванта меньше величины $k_B T$ (T – температура, k_B – константа Больцмана), при нормальной температуре обычно заселены несколько нижних вращательных

уровней молекулы. Это приводит к снижению величины поглощения падающего излучения на частоте перехода, поскольку оно представляет собой баланс актов поглощения при переходе с нижнего уровня на верхний и индуцированного испускания при обратном процессе, то есть пропорционально разности $N_1 - N_2$, где N_1 и N_2 – заселенности нижнего и верхнего уровня соответственно. В результате уменьшается чувствительность метода спектроскопии, основанного на измерении поглощения радиоволн.

Другое обстоятельство, которое также вызывает снижение точности определения частот квантовых переходов молекул, находящихся в газовом состоянии, – это уширение линии поглощения из-за эффекта Доплера. Доплеровское уширение линий присутствует во всех вариантах газовой спектроскопии, в том числе, естественно, и в оптическом диапазоне.

Обе проблемы могут быть решены посредством использования вместо газа пучка молекул, пропускаемых через высокочастотный резонатор в направлении, в котором тип колебаний поля в резонаторе является почти предельным, то есть имеет очень большую фазовую скорость в этом направлении. Очевидно, что поскольку доплеровское смещение частоты перехода пропорционально v/c_ϕ , где v – тепловая скорость молекулы, а c_ϕ – фазовая скорость волны, то при $c_\phi \rightarrow \infty$ частотный сдвиг будет мал (рис. 4).

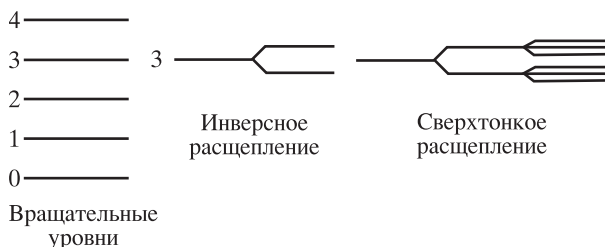
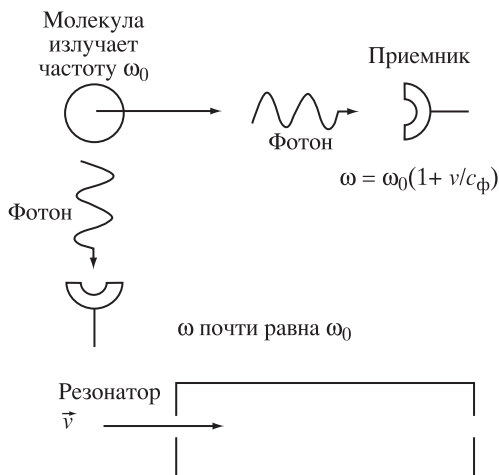


Рис. 3. Спектр вращательных уровней молекулы аммиака

Везде $kT \gg E_n - E_m$; населенность $N_n \sim \exp(-E_n/kT)$ равна для большого числа нижних уровней вплоть до $E_n \sim kT$

Рис. 4. Доплеровское уширение линий и исключение этого эффекта

Частота электромагнитной волны, излучаемой движущейся направо со скоростью v молекулой, сдвигается относительно частоты перехода на величину $\omega_0 v/c_\Phi$ для приемщика, установленного справа, и почти не смещается для приемника, установленного внизу; в резонаторе можно сделать эффективную (фазовую) скорость $c_\Phi \rightarrow \infty$, что исключает сдвиг частоты; поле $E \sim E_0 \cos \omega t$; если E_0 не зависит от координаты на оси, это означает, что $c_\Phi \rightarrow \infty$ и $\omega \rightarrow \omega_0$



Использование вместо газа пучка молекул позволяет также увеличить эффективность поглощения за счет “сортировки” молекул по уровням неоднородным электрическим или магнитным полем. В частности, если “сортировка” молекул производится неоднородным электрическим полем (например, квадрупольным конденсатором, состоящим из четырех металлических стержней, вдоль оси которого распространяется пучок), то при входе в сортирующую систему молекулы, находящейся в результате теплового возбуждения на нескольких квантовых вращательных уровнях (в “смешанном” состоянии), электрическое поле “перепутывает” эти состояния. Возникает дипольный момент и, соответственно, сила, которая действует на молекулы в направлении, поперечном по отношению к направлению движения пучка, – в направлении градиента неоднородного поля. Таким образом, молекулы, расположенные на близлежащих уровнях исследуемого перехода, фокусируются на ось системы или выбрасываются из пучка (рис. 5). Итак, применение пучков молекул позволило решить две важные для спектроскопии задачи: исключить доплеровское уширение линии перехода и повысить эффективность поглощения за счет “сортировки” молекул. Теперь уже до принципа создания мазера было совсем близко.

Действительно, а почему бы не использовать для целей радиоспектроскопии не поглощательные, а излучательные переходы? Если мы попытаемся проследить за логикой Н.Г. Басова и А.М. Прохорова, с одной стороны, и Ч. Таунса, Дж. Гордона и Х. Цайгера – с другой, то убедимся, что обе группы радиоспектроскопистов говорили в своих публикациях 1954 г., в первую очередь, об увеличении разрешающей силы радиоспектроскопов за счет

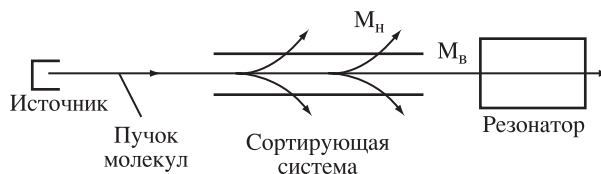


Рис. 5. “Сортировка” молекул по вращательным уровням в электрическом поле

Электрическое поле на оси системы минимальное; молекулы, находящиеся на верхнем уровне (M_u), проходят в резонатор, молекулы, находящиеся на нижнем уровне (M_l), выбрасываются из системы

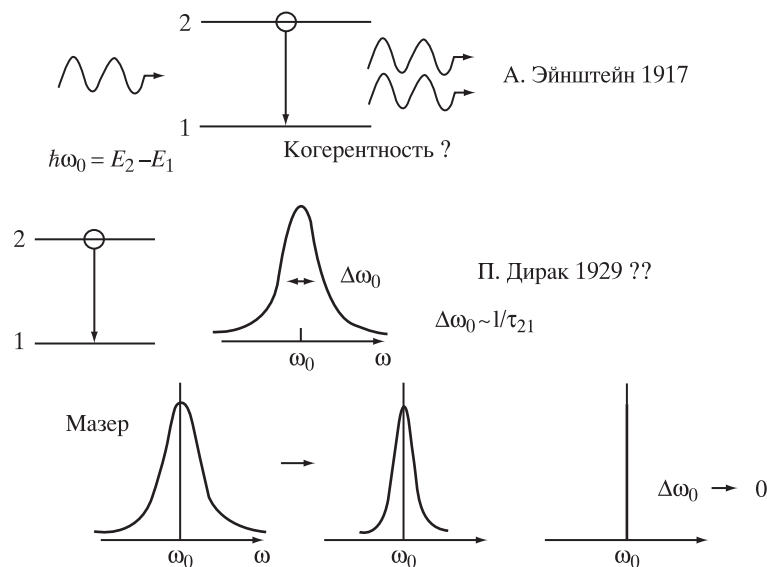


Рис. 6. “Форма линии” индуцированного излучения

При единичном акте вероятность излучения заданной частоты дается колоколообразной функцией с шириной спектра $\Delta\omega_0 \sim 1/\tau_{21}$, где τ_{21} – время излучения со второго уровня на первый; при многократном индуцированном излучении спектральные вероятности умножаются во столько же раз и в пределе очень большого числа переходов спектр будет стремиться к монохроматическому (генерация в лазере), индуцированное излучение когерентно (тождественно) падающей волне, что подтверждено открытием мазерного эффекта

использования вместо поглощения индуцированного испускания, поскольку последнее благодаря регенерации должно привести к сужению линии перехода (рис. 6). Эти две работы ознаменовали начало новой эры в радиофизике – применения квантовых систем для генерации электромагнитного излучения.

В конце 1963 г., когда уже было ясно, что открытие привело к созданию нового научного и технического направления, получившего название “квантовая электроника”, и в научных кругах сложилось мнение о том, что оно является выдающимся достижением, Д.В. Скобельцын выдвинул его на соискание Нобелевской премии. В своем письме в Нобелевский комитет он писал: «Изучая этот вопрос, можно вспомнить, что первые соображения об использовании индуцированного излучения для когерентного усиления и генерации электромагнитных волн были высказаны независимо этими исследователями в начале 50-х годов на конференциях, труды которых, к сожалению, не были изданы впоследствии.

Первые же публикации в печати, относящиеся к квантовым генераторам, появились в 1954 г. А именно: Н.Г. Басовым и А.М. Прохоровым в январе 1954 г. была направлена в редакцию “Журнала экспериментальной и теоретической физики” статья “Применение молекулярных пучков для радиоспектроскопического изучения вращательных спектров молекул”, которую редакция опубликовала в томе 27 на стр. 431–438 в октябре 1954 г. В мае 1954 г. Ч. Таунс с сотрудниками направил в журнал “Physical Review” статью

“Микроволновый молекулярный генератор и новая сверхтонкая структура микроволнового спектра аммиака”. Эта работа была опубликована в томе 93 на стр. 282–284 в июле 1954 г.».

Д.В. Скобельцын завершает свое письмо: “То многообразие работ по квантовым генераторам, которое мы имеем к настоящему времени, так или иначе отражает новые идеи, выдвинутые и сформулированные независимо в одно и то же время Ч. Таунсом, Н.Г. Басовым и А.М. Прохоровым. Я надеюсь, что мои доводы достаточно основательны для рассмотрения Нобелевским комитетом моих соображений, изложенных в настоящем письме”.

Перейдем теперь к этим первым работам по квантовой электронике. В статье Ч. Таунса и его сотрудников Дж. Гордона и Х. Цайгера “Микроволновый молекулярный генератор и новая сверхтонкая структура микроволнового спектра аммиака” сообщалось о том, что “создана и работает экспериментальная установка, которая может быть использована в качестве микроволнового спектрометра высокого разрешения, микроволнового усилителя или очень стабильного генератора. Это устройство, в котором

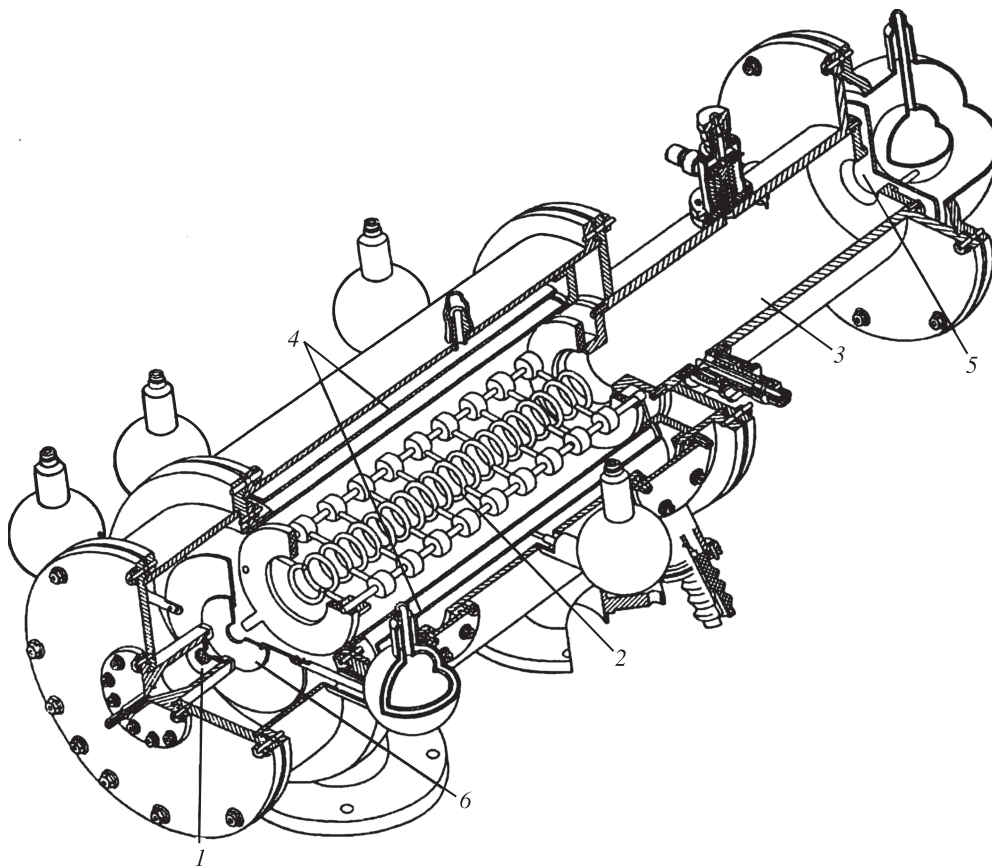


Рис. 7. Конструкция молекулярного генератора

1 – источник молекулярного пучка, 2 – сортирующая система; 3 – резонатор, 4 – вакуумная рубашка, охлаждаемая жидким азотом; 5 – торцевая ловушка отработанного пучка молекул; 6 – диафрагма для формирования молекулярного пучка

используется инверсионный спектр молекулы аммиака, основано на излучении энергии внутри резонатора с высокой добротностью пучком молекул аммиака...". Таким было первое сообщение о реализации молекулярного генератора – мазера.

Н.Г. Басов и А.М. Прохоров в своей статье “Применение молекулярных пучков для радиоспектроскопического изучения вращательных спектров молекул” писали: «Используя молекулярный пучок, в котором отсутствуют молекулы в нижнем состоянии рассматриваемого перехода, можно сделать “молекулярный генератор”. Принцип действия молекулярного генератора состоит в следующем.

Отсортированный молекулярный пучок, в котором отсутствуют молекулы в нижнем состоянии рассматриваемого перехода, пропускается через объемный резонатор. За время пролета молекул в объемном резонаторе часть молекул переходит из верхнего состояния в нижнее, отдавая энергию объемному резонатору. Если мощность потерь внутри резонатора меньше мощности излучения молекул, то наступает самовозбуждение, при котором мощность в резонаторе растет до величины, определяемой эффектом насыщения. Таким образом, самовозбуждение наступит, если...». Далее идут формулы, определяющие основные параметры генератора, и в итоге оценивается величина добротности, необходимая для самовозбуждения молекулярного генератора. Для молекулы CsJ, которую исследовали Н.Г. Басов и А.М. Прохоров, добротность должна быть не менее 7×10^6 (!). Это явилось основанием утверждать, что в данном случае самовозбуждение невозможно (не хватает трех порядков в величине добротности). Однако, учитывая, что система формирования пучка в экспериментах была недостаточно эффективной, авторы все же делают оптимистический вывод о возможности реализации молекулярного генератора.

Н.Г. Басов и А.М. Прохоров начали создавать установку не на пучке молекул CsJ, а на более интенсивном пучке молекул (предположительно формальдегида?). Однако после публикации Ч. Таунса они перешли на аммиак и через непродолжительное время получили генерацию. Официальной публикации не было по понятным причинам, но в докторской диссертации Н.Г. Басова, которая была представлена к защите в 1956 г., содержалось подробное описание молекулярного генератора, работающего на пучке молекул аммиака (рис. 7). В отзыве на диссертацию А.М. Прохоров, в частности, писал: “Возможность создания молекулярного генератора была впервые указана Н.Г. Басовым в 1952 г.”.

Единственное, что удалось обнаружить в архивах на эту тему, – доклад Н.Г. Басова и А.М. Прохорова, находящийся в стенограмме Совещания по магнитным моментам ядер, которое состоялось 22–23 января 1953 г. (Архив РАН. Ф. 1522. Оп. 1. Д. 59. С. 36–47). Доклад, прочитанный Н.Г. Басовым, содержит два существенных момента, имеющих прямое отношение к исследуемой здесь теме. В частности, там сказано: “После того, как мы выяснили в общем теоретические возможности сортировки молекул, сразу естественно было перейти на новую методику получения (так в тексте. – О.К.). Именно: смотреть не поглощение микроволн, а излучение, т.е. отсортировать молекулы, находящиеся не в нижнем вращательном состоянии, а выделять молекулы, находящиеся в верхнем вращательном состоянии. И наблюдать уже

не спектр поглощения, а спектр излучения молекул... Для наблюдения индуцированного излучения такого молекулярного пучка он пропускается через резонатор. С течением времени, если добротность резонатора достаточно велика, энергия, запасенная в резонаторе, растет и вероятность излучения молекулами энергии стремится к единице”.

Другое интересное заявление, сделанное в том же докладе, звучит так: “Здесь сразу надо сказать, что, как было показано А.М. Прохоровым, монохроматизация пучка по скоростям необязательна, так как здесь можно пользоваться таким высокочастотным полем, при котором доплеровское расширение (так в тексте. – *О.К.*) не получается. Если пропустить пучок вдоль волновода в таком направлении, в котором фазовая скорость волн, скажем E -волны, равна бесконечности, то сдвига из-за доплеровского эффекта не получается, так как сдвиг частоты определяется отношением скорости молекулярного пучка к фазовой скорости волн в направлении распространения пучка”.

Считаю необходимым отметить, что существование процесса индуцированного излучения было постулировано А. Эйнштейном в 1917 г. в результате анализа процесса установления теплового равновесия между излучением и атомной системой. Вывод о том, что квант индуцированного излучения должен быть тождествен квантам, вызвавшим такое излучение, следует из квантовой теории поля и обычно ассоциируется с именем П. Дирака. Однако перекинуть мостик между понятием когерентности в классическом понимании этого слова (тип колебания поля в резонаторе) и утверждением о тождественности квантов (у них отсутствует понятие фазы) не так просто. Именно установление когерентности в молекулярных (“квантовых”) генераторах, работающих за счет вынужденного излучения, является нетривиальным фактом этого выдающегося открытия (см. рис. 6).

Из работ раннего периода квантовой электроники упомяну о предложении “сортировки” частиц методом возбуждения активных сред электромагнитным излучением – так называемая трехуровневая схема. Она с успехом была применена для создания мазеров – малошумящих усилителей СВЧ-диапазона на кристалле рубина и в дальнейшем – для создания лазеров. Это предложение содержалось в статье Н.Г. Басова и А.М. Прохорова “О возможных методах получения активных молекул для молекулярного генератора”, напечатанной в “Журнале экспериментальной и теоретической физики” в феврале 1955 г. (Т. 28. С. 249, 250).

Открытие новых методов генерации электромагнитного излучения привело к бурному развитию научных исследований в области квантовой электроники и принесло в ряде случаев фантастические результаты, которые в те далекие 1950-е годы было просто невозможно себе представить. В первую очередь следует сказать о реализации принципов молекулярного генератора в оптическом диапазоне частот, другими словами, о создании лазеров.

В июне 1958 г. А.М. Прохоров опубликовал в “Журнале экспериментальной и теоретической физики” (Т. 34. С. 1658, 1659) статью “О молекулярном усилителе и генераторе на субмиллиметровых волнах” (направлена в редакцию в апреле 1958 г.). В ней предложен так называемый открытый резонатор, в котором высокая добротность осуществляется за счет короткой длины волны излучения: “Для создания молекулярного генератора в качест-

ве резонатора можно использовать два плоскопараллельных зеркала. Если расстояние между зеркалами равно l и коэффициент отражения от зеркала равен k (считая, что потери энергии плоской волны происходят только при отражении от зеркала), то добротность такой системы равна

$$Q = \frac{2\pi l}{\lambda} (1 - k)^{-1}.$$

Как известно, открытые “многомодовые” (с большим числом различных типов колебаний поля, имеющих близкие частоты) резонаторы – неизменный атрибут лазеров.

В декабре того же 1958 г. А.Л. Шавлов и Ч. Таунс опубликовали в “Physical Review” (Т. 112. С. 1940–1949) развернутую статью “Инфракрасные и оптические мазеры” (направлена в редакцию в августе 1958 г.). В ней сообщалось: “Рассмотрена возможность переноса техники мазеров в инфракрасный и оптический диапазон. Показано, что при использовании резонатора сантиметрового размера, имеющего много резонансных мод, генерация на указанных волнах может быть достигнута при накачке вполне реальной мощностью некогерентного света”.

И наконец, в августе 1959 г. в “Журнале экспериментальной и теоретической физики” (Т. 37. С. 586, 587) увидела свет статья Н.Г. Басова, Б.М. Вула и Ю.М. Попова “Квантово-механические полупроводниковые генераторы и усилители электромагнитных колебаний” (поступила в редакцию в мае 1959 г. и зарегистрирована в Комитете по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР 7 июля 1958 г.). В ней рассматривалась “возможность использования электронных переходов между зоной проводимости (валентной зоной) и донорными (акцепторными) примесными уровнями полупроводника для получения электромагнитного излучения с помощью механизма индуцированного излучения подобно тому, как это имеет место в молекулярном генераторе”.

В этих трех статьях впервые делалась попытка продвинуть принципы работы молекулярного генератора в область инфракрасных и оптических частот. Они, конечно, только положили начало таким исследованиям и привлекли внимание научной общественности к новому научному направлению.

О том, что из этого получилось, я уже сказал. Здесь же считаю нужным отметить, что 50 лет развития квантовой электроники являются блестящим примером, демонстрирующим значение фундаментальной науки или фундаментального открытия для практических приложений с пользой для общества и экономики. Квантовая электроника раскрыла свои возможности фактически на протяжении жизни одного-двух поколений.

Огромный объем результатов, полученных с использованием методов квантовой электроники в нашей стране, оказался возможным благодаря большому вниманию и поддержке со стороны государства и, более конкретно, со стороны ряда министерств: оборонной промышленности, электронной и радиопромышленности, среднего машиностроения и Академии наук СССР. Очевидно, что в реализацию рожденных этим открытием программ было вовлечено большое количество научно-исследовательских институтов и конструкторских организаций, в которых работали высококвалифицированные специалисты и выдающиеся ученые. Конечно, весьма рискованно пытаться



Рис. 8. Специалисты по когерентной и нелинейной оптике (слева направо): С.А. Ахманов, Р.В. Хохлов, Н. Бломберген (США) и А.И. Ковригин в лаборатории МГУ

ся назвать все имена, но несколько исключений можно сделать, особенно учитывая, что доклад я делаю на совместном собрании Российской академии наук и Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, посвященном 250-летию этого старейшего в нашей стране учебного заведения.

В первую очередь я имею в виду двух замечательных ученых, создавших в Московском университете научную школу по когерентной и нелинейной оптике, – Р.В. Хохлова и С.А. Ахманова (рис. 8). Эта научная школа, объединяющая в настоящее время кафедры квантовой электроники, общей физики и волновых процессов, а также Международный лазерный центр МГУ, внесла выдающийся вклад в исследования параметрических процессов и процессов генерации гармоник, фундаментальных закономерностей распространения мощного светового излучения в средах, разработку методов нелинейной спектроскопии. И ныне она относится к числу самых успешно и плодотворно работающих научных объединений нашей страны.

Следует также сказать о коллективе Государственного оптического института им. С.И. Вавилова (ГОИ) – ведущего советского и российского центра в области оптики. В этом институте практически одновременно с ФИАНом были запущены первые в стране рубиновые лазеры, а в последующие годы интенсивно проводились исследования в области квантовой электроники. Институт лазерной техники, выделившийся из ГОИ несколько лет назад, успешно их продолжает. Считаю нужным отметить огромную роль в развитии квантовой электроники Ленинградского инсти-

тута точной механики и оптики (сейчас Санкт-Петербургский технический университет). Ленинградское оптико-механическое объединение много сделало для совершенствования техники и технологии в области оптического и лазерного приборостроения, особенно при осуществлении крупных проектов.

Как уже упоминалось выше, Нобелевская премия по физике 2000 г. присуждена Ж.И. Алферову, успешно реализовавшему в начале 1960-х годов гетероструктуры на основе арсенида галлия–алюминия, а позднее (с участием ФИАНа) – на более сложных четырехкомпонентных соединениях. Именно с освоением гетероструктур полупроводниковые лазерные диоды обрели облик современных устройств с высоким КПД и мощностью. Резерв в улучшении их параметров далеко не исчерпан и, надеюсь, мы еще будем свидетелями впечатляющих результатов.

Высокопрецизионная спектроскопия и методы создания высокостабильных оптических генераторов активно развиваются в Институте лазерной физики Сибирского отделения РАН. Разработка эталонных частот для Службы времени требует реализации устройств переноса частот из оптического в радиодиапазон. Эта задача успешно решается коллективом института совместно с ФИАНом и другими организациями. В Институте лазерной физики, Институте прикладной физики, а также в Институте спектроскопии РАН проводятся широкие исследования в направлении создания лазеров с фемтосекундной длительностью импульсов и применения их для целей спектроскопии высокого пространственного разрешения. Работы коллектива Института спектроскопии по проблеме лазерного охлаждения атомов носят приоритетный характер.

Немало сделали для медицинского применения лазеров коллективы Института общей физики им. А.М. Прохорова и Института проблем лазерной и информационной технологии РАН.

Большой вклад в развитие лазерной техники внес НИИ “Полюс” (сейчас ГУП “Полюс” им. М.Ф. Стельмаха). Разнообразные лазерные системы различного назначения и комплектующие элементы, а также системы управления лазерным излучением внедрены в серийное производство и стали доступны для многих организаций благодаря разработкам НИИ “Полюс”.

Мощная лазерная техника успешно разрабатывалась в Научно-производственном объединении “Астрофизика” и Всероссийском научно-исследовательском институте экспериментальной физики (г. Саров), где, в частности, создана для термоядерных исследований лазерная установка “Искра-5”, в которой используется фотодиссоционный метод получения активной среды на атомах йода (энергия 20 кДж). В настоящее время разрабатывается более мощная система “Искра-6”. Активно участвуют в развитии лазерной техники и многочисленных ее применений институты и предприятия промышленности Белоруссии, где в свое время был сформирован научно-производственный комплекс советской оптической промышленности.

Ученым и инженерам из упомянутых выше организаций и многим другим мы обязаны тем, что на протяжении полувека отечественная наука была на высоком уровне достижений и внесла огромный вклад в квантовую электронику.

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ – НАУКАМ О ЖИЗНИ

Академик Н.С. Зефирова

Изучая вещества окружающего мира, химия быстро разделилась на два основных направления: химия веществ, выделяемых из живой природы (растений, животных и т.д.), или органическая химия, и химия минерального мира, или неорганическая химия. Долгое время получить органические вещества в лаборатории не удавалось, и их синтез в живой природе объяснялся воздействием таинственной “жизненной силы”. Синтетическая органическая химия родилась в 1828 г., когда Ф. Вёлер впервые синтезировал из неорганических веществ мочевины – типичное органическое вещество. В последующем синтетические открытия посыпались как из рога изобилия, и в настоящее время описано более 20 млн органических веществ (неорганические вещества составляют около 5% известных).

Сейчас органическую химию определяют как химию соединений углерода. Этот элемент обладает уникальной способностью образовывать ковалентные связи с самим собой. Если для характеристики неорганических веществ достаточно знать молекулярный состав (например, H_2SO_4 или $K_2Cr_2O_7$), то способность атомов углерода соединяться между собой сильно усложняла понимание строения органических соединений, так как только состава для характеристики было явно недостаточно.

Поэтому основным понятием органической химии является “химическая структура”, отражающая соединение между собой атомов, входящих в состав молекулы. Ниже приведены примеры структур, начиная от простых (этиловый спирт) и кончая одним из современных природных противоопухолевых препаратов (таксол) (рис. 1).

Источниками органических веществ являются либо природа, либо органический синтез. Зная и используя закономерности строения органических веществ, человек смог создать “параллельную природу”, то есть мир веществ, не существующих в природе, но которые можно сделать искусственно, используя химические структурные знания. На рисунке 2 приведены несколько структур, выбранных просто в силу своей эстетичности.

В принципе может существовать астрономически большое число структур за счет комбинаций различных атомов в различных соотношениях (одна из оценок дает 10^{180} структур). Приведу два примера, иллюстрирующих быстрое нарастание возможных комбинаций и появление “комбинаторного взрыва”. Для C_6 возможны 16 структур и далее: для C_6H_6 – 217, для C_6H_6O – 2237 и для C_6H_6ON – 58 218 структур. Если мы возьмем образование пептидов из набора 20 природных аминокислот, то число комбинаций будет следующим: трипептиды – 8000, тетрапептиды – 160 000, пента-пептиды – 3.2 млн. Что же говорить о белках, имеющих более 100 аминокислот! Здесь

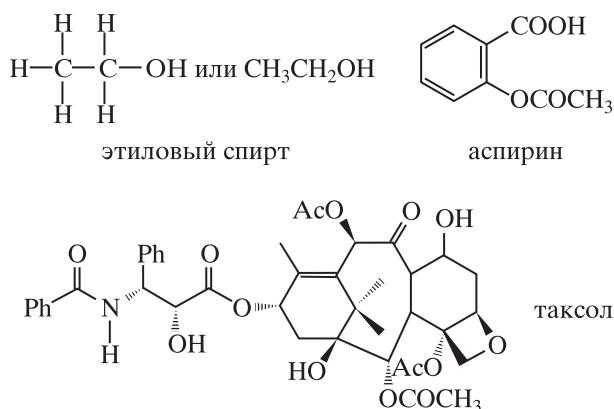


Рис. 1. Примеры химических структур разного уровня сложности

очевидна необходимость компьютерных структурных генераторов для дизайна библиотек соединений.

Исследование превращений одних веществ в другие и изучение их свойств – основополагающая, фундаментальная проблема органической химии. Поскольку язык органической химии – это язык структур, то первой проблемой является изучение соотношения структура–структура, которая включает большое число подпроблем, связанных с манипуляциями структурами – их генерации, многоуровневой классификации, например, без учета и с учетом стереохимии, анализа механизмов, планирования синтеза и, наконец, проведения самого органического синтеза.

Накопленный громадный фактический материал по синтезу структур и по их превращениям используется для решения задач практического характера – создания веществ, обладающих комплексом полезных свойств. При этом для пользователя главным становится наличие у вещества определенного свойства, а его структура рассматривается им как второстепенная или как несущественная. Поэтому химик должен установить связь структуры вещества с его свойствами. Таким образом, второй фундаментальной проблемой химической науки является исследование и выявление соотношений структура–активность или структура–свойство. Данная проблема – более высокого уровня в силу своей большой сложности. До сих пор в большинстве случаев она решается эмпирическим путем: сначала синтезируется структура и затем проводится тестирование на кон-

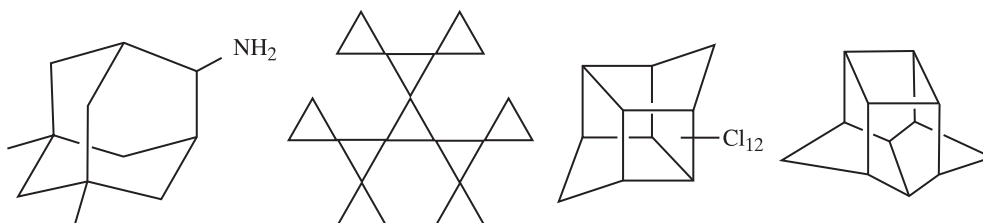


Рис. 2. Синтезированные химические структуры

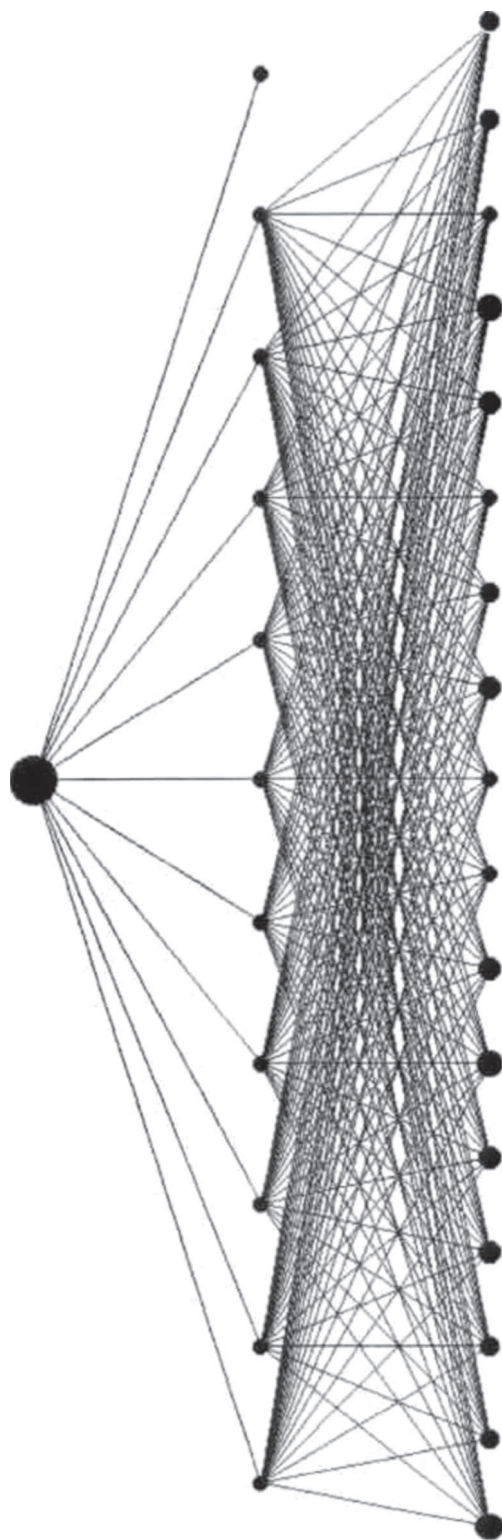


Рис. 3. Трехслойная нейронная сеть. На вход (нижний слой) подаются значения дескрипторов, характеризующих химическую структуру, на выходе получают значение прогнозируемого свойства или биологической активности

кретное свойство или широкий скрининг на поиск какого-либо полезного свойства.

Долгое время решение практической задачи создания новых лекарств шло по этому эмпирическому пути: вещество выделялось из природных источников или получалось в лаборатории, устанавливалась его структура, проводилось многоступенчатое тестирование с целью выявления возможного лекарственного действия. Такой способ решения задачи требовал перебора огромного числа структур с базовым скелетом, синтеза больших серий структурно-подобных веществ, поэтому для нахождения одного кандидата приходилось перебирать и исследовать тысячи веществ. Очевидно, что такое решение проблемы – дорогостояще, длительно и неэффективно.

В последние годы ситуация изменилась. Современные подходы к поиску и конструированию структуры лекарств базируются прежде всего на успехах в медицинской химии и связаны с введением понятия биомишени – биополимерной молекулы (например, ДНК, фермент или рецептор), чьи свойства надо целенаправленно видоизменить за счет действия лекарства. Информация о пространственном строении необходимой биомишени (как правило, белковой молекулы), если она имеется, позволяет использовать методы прямого конструирования структуры потенциального лекарственного препарата, в рамках которых реализуются отдельные этапы методологии “от гена к лекарству”. Такие методы достаточно многообразны и могут быть разделены на две группы – виртуальный скрининг в молекулярных базах данных (*in silico* скрининг) и виртуальное конструирование лигандов (*de novo* дизайн). Однако во многих случаях информация о строении биомишени отсутствует, но есть данные о необходимой биоактивности для серии соединений. Тогда используются методы непрямого поиска, основанные главным образом на корреляциях между характеристиками химических структур и биологической активностью веществ (QSAR – Quantitative Structure-Activity Relationships). Наиболее частым случаем остается отсутствие данных о структуре и лигандов, и рецептора: тогда применяются методы комбинаторной химии и высокопроизводительного скрининга. Последний случай – наиболее трудный. Итак, у нас нет данных о строении биомишени и о структурах веществ, оказывающих действие на эту биомишень. Тогда приходится синтезировать библиотеки соединений методами комбинаторной химии, каждая из которых насчитывает многие тысячи структурно-подобных соединений. Вслед за созданием таких библиотек следуют массовые испытания биологической активности методами высокопроизводительного скрининга. Подчеркнем, что число синтезируемых соединений методами комбинаторной химии и тестируемых на целевую активность при наличии современной робототехники на крупных фирмах может достигать десятков и даже сотен тысяч в неделю.

Непрямой поиск более эффективен, существенно менее дорогостоящ и, как правило, основан на методологии QSAR. Но для данной методологии необходимы исходные данные, состоящие из набора химических структур с известными значениями целевых активностей. Это позволяет по-

строить, используя статистические методы, модель структура–активность (QSAR-модель). На ее базе осуществляется генерация и конструирование новых структур. Таким образом мы генерируем серии неких гипотетических структур, предсказываем их активность на основе QSAR-моделей, автоматически селектируем их, отбирая структуры с оптимальной заданной активностью, анализируем их синтетическую доступность и осуществляем синтез этих соединений. Теперь можно приступать к их биологическому испытанию. Далее процедура повторяется, то есть процесс создания новых соединений носит итерационный характер: после синтеза и экспериментальных исследований серии соединений проводятся новые исследования QSAR, и затем конструируются новые структуры, осуществляется их синтез, тестирование, и вновь проводятся исследования QSAR с учетом данных для новых соединений, и т.д. В рамках такой методологии используются различные подходы. Так, хорошие результаты дают методы, базирующиеся на топологическом совмещении структур с известной биоактивностью и анализе ее связи с локальными (атомными) параметрами (например, метод MFTA).

Применение методологии искусственных нейронных сетей (ИНС) в области QSAR вместо линейных подходов привело к значительному улучшению прогноза и открыло новые возможности. Наибольшее распространение получили трехслойные нейронные сети, состоящие из входного слоя нейронов (получающего рассчитанные значения дескрипторов), промежуточного и выходного слоя нейронов, соответствующего прогнозируемым свойствам (рис. 3). В результате обучения ИНС с использованием базы данных структура–активность происходит оптимизация параметров нейронной сети таким образом, чтобы в результате преобразования значений дескрипторов получались наиболее точные значения активности. Нейросетевые модели могут воспроизводить нелинейные зависимости и обеспечивают лучшую точность прогнозирования активности структур.

Большое значение имеют трехмерные подходы к QSAR, основанные на картировании биомишени путем определения формы места связывания, исходя из структурных данных о лигандах и об их связывании. К таким методам относится CoMFA (метод сравнительного анализа молекулярного поля) и CoMSIA (метод сравнительного анализа индексов молекулярного сходства). Эти методы позволяют сделать выводы о строении биомишени и характере связывания с ней лигандов.

Сейчас активно развиваются направления, основанные на знании строения биомишени. В общедоступных базах данных хранятся координаты атомов для тысяч белков, полученные методами рентгеноструктурного анализа или ЯМР. Эти сведения содержат базовые знания о биомишенях при разработке новых лекарств. Однако для большинства белков известна лишь аминокислотная последовательность и иногда – данные точечного мутагенеза, указывающие на аминокислотные остатки в структуре белка, важные для связывания определенных лигандов. В таких случаях часто оказывается возможным компьютерное построение пространственной модели белка–биомишени, например, по гомологии с белками, для которых известна пространственная структура. Информация же о точечных мутациях, влияю-

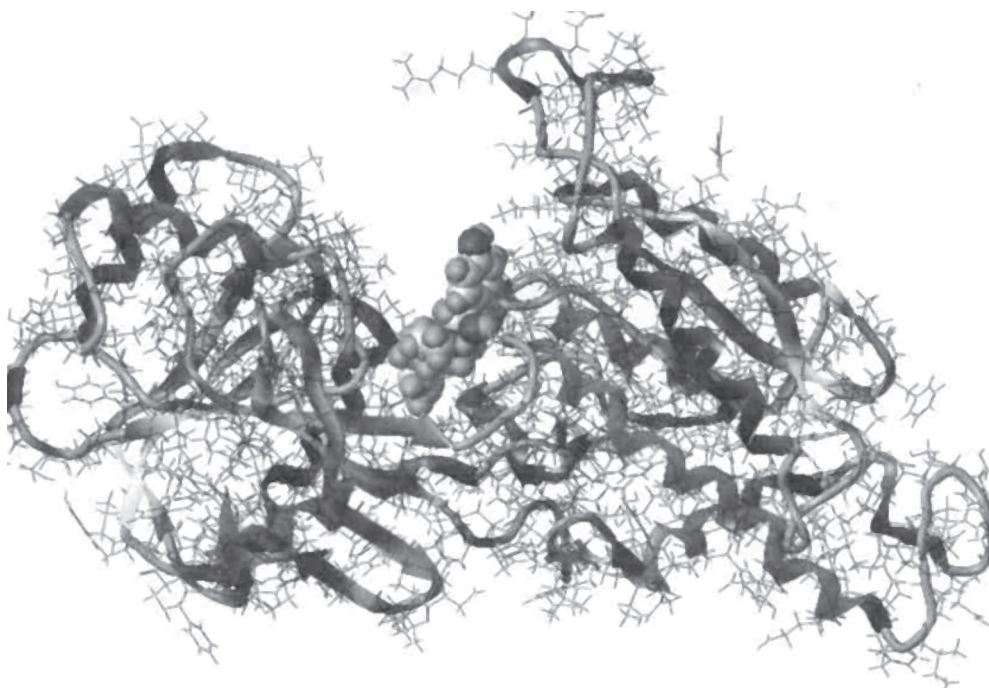


Рис. 4. Комплекс N-концевого домена (модуляторного сайта) NMDA-рецептора с ифенпродилом

щих на связывание лигандов, помогает определить сайт связывания таких лигандов.

Перечисленные методы успешно использовались нами для моделирования важных мишеней при лечении нейродегенеративных заболеваний – ионотропных и метаботропных глутаматных рецепторов. На рисунке 4 приведена молекулярная модель модуляторного сайта NMDA-рецептора, с которым может связываться препарат димебон, показавший в результате проведенных в Институте физиологически активных веществ РАН исследований хорошие нейропротекторные свойства. Исследования серии конформационно-подвижных аналогов блокаторов ионного канала этого рецептора позволили найти перспективные нейропротекторные соединения, не дающие побочных эффектов в экспериментах на животных.

Важнейшим направлением в настоящее время становится виртуальный скрининг (*in silico* скрининг) в молекулярных базах данных, предназначенный для выявления активных структур компьютерными методами. Он включает следующие этапы: подготовка модели биомишени (расстановка зарядов на атомах, расчет молекулярных поверхностей); подготовка баз данных структур органических соединений (удаление противоионов, протонирование и депротонирование в соответствии с физиологическим pH, расчет физико-химических свойств, моделирование пространственной структуры соединений в базах данных, расчет зарядов на атомах); пре-

процессинг баз данных (удаление структур по критериям, основанным на допустимых значениях оценок физико-химических свойств, по предсказанной токсичности и т.д.); молекулярный докинг структур из баз данных в модель биомишени с помощью программ, основанных на оценочных функциях, и отбор потенциальных лигандов; постпроцессинг полученных баз потенциальных лигандов с помощью моделей QSAR. В результате формируется сфокусированная библиотека потенциальных лигандов для данной биомишени. Следует отметить, что разработка достаточно универсальных функций, позволяющих быстро и надежно оценить взаимодействие молекулы-лиганда с биомишенью в процессе молекулярного докинга, до сих пор остается нерешенной научной задачей. Однако для различных биомишеней возможна их дополнительная адаптация. В настоящее время во многих лабораториях мира ведется интенсивная исследовательская работа в этих направлениях.

В заключение следует констатировать, что современная методология структурного дизайна лекарств и других биологически активных веществ переживает революционные изменения. Значительная часть рассмотренных в данном докладе современных методов конструирования лекарств (как экспериментальных, так и компьютерных) в России применяется лишь в немногих организациях. Поэтому насущной необходимостью является создание крупных центров, оснащенных оборудованием и комплексами компьютерных программ для разработки новых лекарств на современном уровне.

**ПОСТАНОВЛЕНИЕ СОВМЕСТНОЙ
НАУЧНОЙ СЕССИИ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
И УЧЕНОГО СОВЕТА МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА им. М.В. ЛОМОНОСОВА,
ПОСВЯЩЕННОЙ 250-летию
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

15 декабря 2004 г.

Совместная научная сессия Общего собрания Российской академии наук и Ученого совета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова отмечает выдающуюся роль, которую сыграло в истории развития науки и образования в России плодотворное сотрудничество Российской академии наук и Московского университета. И сегодня их интеграция и тесный союз являются залогом успешного развития общества, основанного на знаниях.

Общее собрание Российской академии наук и Ученый совет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова ПОСТАНОВЛЯЮТ:

Считать необходимым принять заявление “О роли науки и образования в современном мире” (текст прилагается).

*Президент Российской академии наук
академик Ю.С. ОСИПОВ*

*Ректор Московского государственного
университета им. М.В. Ломоносова
академик В.А. САДОВНИЧИЙ*

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РАН**

**“Энергетика России:
проблемы и перспективы”**

20–21 декабря 2005 года

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА Ю.С. ОСИПОВА

“Энергетика России: проблемы и перспективы” – так обозначена тема нашей научной сессии. Тема весьма многогранная, в рамках одного собрания обсудить все её аспекты невозможно. Тем не менее, учитывая особую роль и значение энергетики в решении стоящих перед страной задач, и внутренних, и внешних, а также понимая, что состояние дел в ряде секторов энергетики, в обеспечении топливно-энергетического комплекса страны вызывает серьёзную тревогу, мы выбрали эту тему для рассмотрения широкой научной общественностью. Наконец, мы исходили из того непреложного факта, что развитие эффективной и надёжной энергетики невозможно без опоры на современные научные и инженерные знания, на достижения широкого спектра наук: математических, физических, химических, наук о Земле, наук о жизни, общественных и, конечно, инженерных наук.

В Российской академии наук давно и успешно ведутся работы по энергетической тематике. Многие участники этого собрания ведут исследования, прямо или косвенно связанные с проблемами энергетики. В свою очередь, возникающие проблемы энергетики порождают новые задачи фундаментальной и прикладной науки.

Уместно подчеркнуть, что Академия наук имеет богатый опыт эффективного участия наших учёных – мне хотелось бы назвать имена академиков Г.М. Кржижановского, А.П. Александрова, М.А. Стыриковича, Л.А. Мелентьева, Н.В. Мельникова, А.Е. Шейндлина и многих других – в решении сложнейших задач становления и развития одной из самых крупных энергетических систем мира. Вместе с тем сегодня мы ищем новые формы широкомасштабного сотрудничества с отечественным топливно-энергетическим комплексом, чтобы обеспечить его устойчивое развитие и надёжное функционирование.

Мне приятно сообщить, что сегодня в работе научной сессии принимают участие министр науки и образования РФ А.А. Фурсенко, ряд руководителей энергетических структур, представители министерств и отраслевых институтов. Я надеюсь, что наше обсуждение будет конструктивным и содержательным.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

*Академик В.Е. Фортков
и академик О.Н. Фаворский*

Являясь технической основой современной цивилизации, энергетика напрямую определяет уровень, масштабы и темпы социально-экономического развития стран современного мира. П.Л. Капица впервые обратил внимание на жёсткую корреляцию между уровнем экономического развития и удельной энерговооружённостью государств. Построить мощную современную экономику – войти в “золотой миллиард” по энергоэффективности – могут только энергетически развитые страны, сумевшие в необходимой мере обеспечить себя энергией, построив у себя мощный энергетический комплекс. При этом экономический рост обязательно должен сопровождаться ускоренным, опережающим ростом энергетики, от которой напрямую зависят темпы, структура, устойчивость и безопасность экономического роста страны [1–5].

Сегодня мы видим, что весь мир, включая и нашу страну, столкнулся с самыми серьёзными энергетическими вызовами, продиктованными ускорением экономического роста, крайне неравномерным распределением энергетических ресурсов, значительной энергетической нагрузкой на природу, глобализацией и рядом иных факторов. Всё это остро ставит вопрос об энергетической безопасности современного мира.

Для России ситуация усугубляется известными проблемами переходного периода и тем обстоятельством, что мы – холодная северная страна, которая вынуждена тратить четверть своих энергоресурсов просто на обогрев. Всё это ставит вопрос о стратегии и тактике энергетического развития в новых условиях, особенно в связи с необходимостью устойчивого экономического роста России с безусловной энергетической поддержкой этого роста.

Надо сказать, что в конце XX в. топливно-энергетический комплекс страны в полной мере принял на себя удар переходного периода. Однако заложенного в нём запаса прочности хватило, чтобы устоять и, по существу, в течение последних 10 лет дотировать перестраивающуюся экономику страны.

Сегодня наша энергетика и в первую очередь электроэнергетика исчерпала свои внутренние ресурсы и требует качественно иной стратегии: ускоренного развития ресурсной базы, транспортных сетей, энергичной замены и масштабного ввода новых генерирующих мощностей, кардинального повышения уровня и надёжности систем тепло- и электроснабжения, улучшения энергоэффективности и многого другого, без чего наша энергетика превратится из локомотива в тормоз экономического развития страны. Этот энергетический вызов может быть парирован только на базе самых последних достижений науки и техники; путём пассионарных и скоординированных действий всех секторов фундаментальной и прикладной науки.

Энергетика всегда была ведущим сектором нашей экономики и имела для России особое значение. Она не только обеспечивает жизнедеятельность всех отраслей национального хозяйства, консолидацию регионов России, но

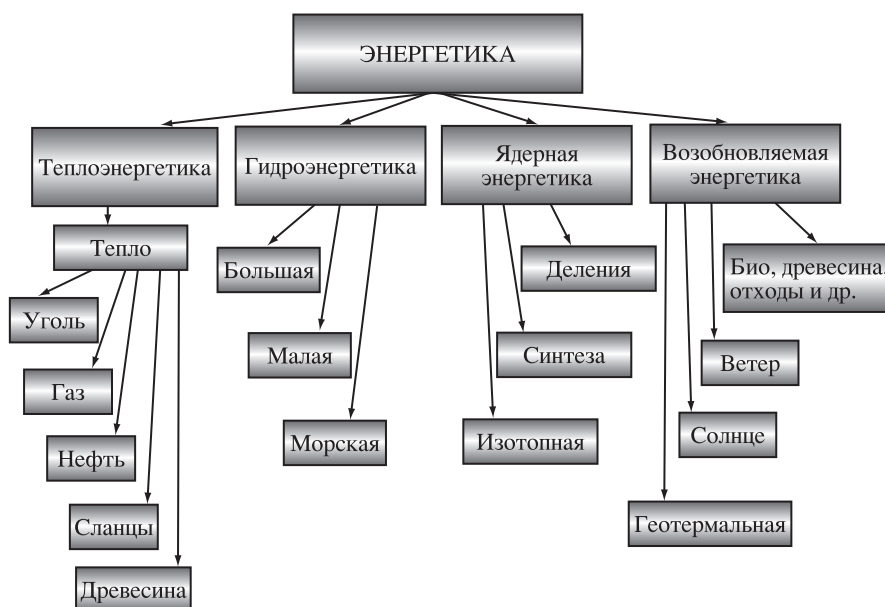


Рис. 1. Источники получения полезной энергии

и является инструментом проведения внешней и внутренней политики, во многом определяющим наше геополитическое влияние.

В топливно-энергетическом секторе производится четверть ВВП, треть промышленного производства; 60% экспорта. Энергетика даёт половину налоговых поступлений в федеральный бюджет, хотя в ней занято всего 4% работающих людей. Она опирается на развитую ресурсную базу. На каждого жителя России приходится в 10 раз больше энергоресурсов, чем в среднем в мире, а по запасам газа мы лишь немного уступаем странам Ближнего Востока. Поэтому именно газ является сегодня ведущим топливом в нашей энергетике. В относительных величинах мы его потребляем в 2 раза больше, чем в среднем остальные страны мира. Эта наша особенность продиктована большими газовыми ресурсами и деформированной ценовой политикой внутри страны, когда газ у нас сегодня стоит столько же, сколько уголь. А во всём мире он в 2–3 раза его дороже.

Нефти у нас значительно меньше – 6–10% мировых запасов. Но по её экспорту мы на втором месте в мире. Поэтому рост мировой цены на нефть так важен для нашего экономического роста. Угля в России 16%, а урана – 2–4%, но их роль для нас очень важна.

Согласно прогнозам Международного энергетического агентства и в соответствии с Энергетической стратегией России на период до 2020 г., в разработке которой самое активное участие принимала Академия наук, органическое топливо ещё долго будет основным топливом нашей и мировой энергетики, хотя доля газа у нас должна снижаться, а доли угля и особенно ядерной энергетики возрастать.

Сегодня люди придумали большое количество технологий получения полезной энергии (рис. 1). Наше сообщение посвящено главным образом

теплоэнергетике, поскольку сегодня в мире подавляющее количество энергии, примерно 85%, производится тепловыми машинами. В обозримом будущем (лет на 50–70, по крайней мере) подобная тенденция сохранится. При этом возрастающую роль будет играть возобновляемая атомная энергетика, которая в конце века должна быть дополнена термоядерными реакторами синтеза, что, по-видимому, снимет многие из сегодняшних энергетических проблем и радикально изменит энергетическую картину мира.

В нашей стране всегда было полное понимание определяющей роли энергетики для экономики и безопасности страны. Энергетика всегда была в центре внимания, развиваясь опережающими темпами, получая масштабные инвестиции, чему способствовали стратегические государственные решения, начиная от знаменитого плана ГОЭРЛО до создания крупнейшей в мире единой энергетической системы страны и масштабного атомного проекта. Была создана передовая энергетическая наука и техника, мощное энергетическое машиностроение, завоевавшие самые передовые позиции в мире. Нашим учёным и специалистам принадлежит ряд впечатляющих пионерских научно-технических достижений:

- первые в мире паровые турбины на сверх- и суперкритические параметры (до 560 °С, 300 атм);
- первые в мире мощные газовые турбины (100 МВт);
- линии электропередач на сверхвысокие напряжения (1150 тыс. В);
- электрогенераторы рекордной – гигаваттной мощности;
- первые атомные станции

и целый ряд иных энерготехнологий, определивших лицо современной энергетики. Важно, что всё это создано без какой-либо иностранной помощи.

Особое место здесь занимает Единая энергетическая система страны, до сих пор самая протяжённая в мире (примерно 2,5 млн км) и позволяющая, следуя за движением Солнца, передавать до 8 ГВт электроэнергии через 11 часовых поясов. Она проектировалась и строилась с пятикратным запасом, который очень пригодился в годы перестройки. Однако из-за отсутствия инвестиций на развитие, в течение последних 10–15 лет более чем в 10 раз сократился ввод новых мощностей (с 6–12 ГВт в год до 0,4–0,6 ГВт), а износ энергетического оборудования достиг угрожающих размеров: 50% генерирующих и электропередающих мощностей и около 60% теплосетей страны выработали свой парковый ресурс и нуждаются в замене, а 10–20% из них находятся в аварийном состоянии.

В последние годы это происходит на фоне роста экономики и проблем ЖКХ, которые в большой степени нуждаются в дополнительной электроэнергии и тепле. Кризис был в своё время предсказан Институтом энергетических исследований РАН. На рисунке 2 хорошо видны растущие потребности страны и уменьшающиеся возможности её энергетики. Пересечения этих кривых быть не может: падающая энергетика остановит экономический рост и даже уничтожит его, погубит все социальные и экономические преобразования, национальные проекты и создаст реальную угрозу безопасности страны. Нам придётся всё чаще сталкиваться с энергоавариями, типа майской 2005 г. в Москве. Стране придётся перейти от стратегии развития к стратегии выживания, а энергетика из двигателя экономики превратится в её тормоз.

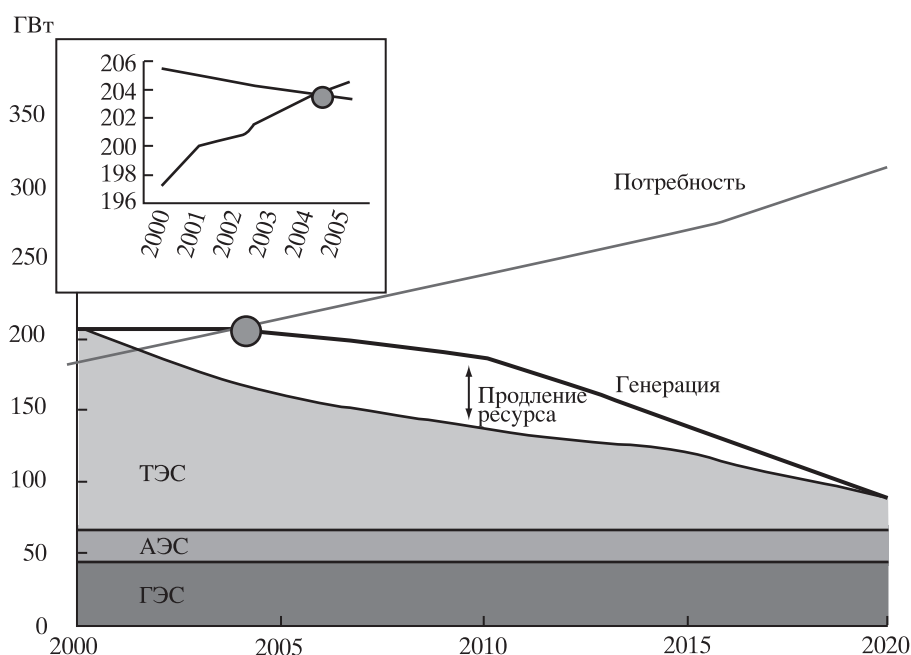


Рис. 2. Потребности и генерация энергомощности в России (прогноз Института энергетических исследований РАН)

Необходимо принятие самых энергичных и продуманных мер по техническому перевооружению и наращиванию производственной базы энергетической отрасли, что возможно только на базе последних достижений науки и техники с широким привлечением академической, отраслевой и вузовской науки.

Сейчас мы в Российской академии наук совместно с РАО ЕЭС интенсивно работаем над соответствующей программой оперативных действий и долгосрочных проектов по созданию новой энергетики России. Это должен быть масштабный национальный проект, сопровождаемый сильной научно-технической программой, что вполне в духе отечественных и мировых энергетических тенденций, то есть опоры на самые последние достижения широкого спектра фундаментальных наук – от изучения теплофизических свойств в экстремальных состояниях до создания современных экономических и экологических моделей. Фактически по всем разделам в РАН есть сильные школы, квалифицированные коллективы и развитая экспериментальная база.

Говоря об основных физико-технических научных проблемах энергетики, определяющих все виды энерготехнологий и энергооборудования, надо упомянуть проблемы высокотемпературной теплофизики, материаловедения, химической физики, горения, детонации, газодинамики, физики и химии плазмы, тепломассообмена, электрофизики, электродинамики и т.п. Самые общие законы термодинамики показывают, что КПД и эффективность тепловых машин требуют перехода к предельно высоким температурам и давлениям рабочего тела, которые приближаются к экстремальным, предель-

но возможным для конструкционных материалов и рабочих сред, в которых значительную роль начинают играть высокотемпературные плазменные процессы. Поэтому изучение теплофизических свойств высокотемпературных материалов и рабочих сред, а также их создание – одна из центральных фундаментальных задач современной теплофизики высоких температур.

В нашей стране, в академии, это научное направление получило большое развитие благодаря работам академиков В.А. Кириллина, А.Е. Шейндлина, И.И. Новикова, которые в своё время провели новаторские исследования уравнения состояния воды и водяного пара, что позволило паросиловым установкам выйти на сверхкритические и суперсверхкритические параметры, заметно подняв их КПД. Сегодня упомянутые работы получили дальнейшее развитие с использованием новых методик – электровзрыва фольг и проволок, что дало возможность впервые в мире выйти на критические параметры многих металлов и дать информацию о плазменных фазовых переходах, предсказанных еще в 1942 г. Л.Д. Ландау и Я.Б. Зельдовичем. Ударно-волновые, взрывные, лазерные методы изучения теплофизических свойств дают уникальную возможность продвинуться в область экстремальных состояний и провести высокотемпературные измерения термодинамики и теплопроводности металлов, керамик, композитов и облучённого диоксида урана – основного топлива современной ядерной энергетики.

Появление фемтосекундных лазеров позволило не только получать в лабораторных условиях рекордные плотности, мощности, но и изучать сверхбыстрые процессы и кинетику фазовых превращений. Оказалось, что измеренная с использованием различных методов воздействия (взрывчатые вещества, протоны, лазеры) кратковременная прочность материалов на 1–2 порядка выше, чем статическая. Это важно, в частности, при проектировании высокочастотных режимов работы энергетических машин.

В Российской академии наук совместно с Росатомом (ВНИИЭФ, г. Саров) мы проводим обширные исследования теплофизических свойств рабочих сред и материалов в широком диапазоне давлений и температур, включая экстремальные. В результате созданы автоматизированные банки данных и пакеты прикладных программ для расчёта и высокотемпературного состава, термодинамических, оптических, электрофизических и транспортных свойств рабочих сред, которые составляют научную основу перспективных энергетических проектов и широко используются в промышленности для анализа штатных и аварийных режимов энергоустановок.

Один из показательных примеров – широкодиапазонное уравнение состояния урана, которое описывает все необходимые фазовые переходы – плавление, испарение, а также ионизацию давлением и нагревом. В таком виде это УРС поступает в ЭВМ для проектирования и анализа работы перспективных энергоустройств.

Большое значение для энергетики представляет адекватное описание процессов горения и детонации топлива. Это и сейчас важнейшая область интересов и физиков, и химиков, и газодинамиков, и разделить их труд практически невозможно. Полнота сгорания топлива, достигаемая температура и состав продуктов сгорания, выбрасываемых в атмосферу, габариты камер сгорания и потери давления по их тракту – таков минимум сведений, определяющих эффективность, экономику и экологию любых энергоустановок.

Применяемые сейчас методы управления горением и детонацией берут свое начало с классических работ академиков Н.Н. Семёнова и Я.Б. Зельдовича, которые заложили современные основы физикохимии, физической газодинамики и химической кинетики этих сложных явлений. Основная проблема сегодня состоит в том, чтобы правильно организовать смешение горючего и окислителя и его горение, чтобы найти оптимум между необходимостью получения высоких температур и возникающим ростом экологически вредных выбросов. Разработанные методы приводят к созданию высокоэффективных гомогенных и каталитических камер сгорания, получая на 1–2 порядка меньше вредных выбросов.

Энергия, содержащаяся в топливе, – его теплотворная способность, – зависит в первую очередь от его химического состава. Как известно, она наибольшая у водорода (в 4 раза выше, чем у природного газа – метана или керосина, и в 7 раз – чем у хорошего угля). Именно поэтому в последние годы расширился интерес к водороду, хотя с ним существуют и проблемы: безопасность эксплуатации, высокая диффузионная способность, малый удельный вес. Даже жидкий, криогенный водород в 10 раз легче керосина, то есть требует в 2.5 раза больших баков.

Состав продуктов сгорания определяется, кроме состава топлива, также избытком воздуха при сгорании: в стехиометрическом сгорании достигаются максимальные температуры T . У керосина в атмосфере $T \sim 2200^\circ$ и при сгорании требуется примерно 14 кг воздуха на 1 кг керосина. Чем больше избыток воздуха, тем холоднее смесь, меньше T . Очень важно, что увеличение Γ ведёт к резкому увеличению в продуктах сгорания окислов азота и при этом обычно к снижению окислов углерода. При анализе процессов и отработке камер сгорания за последнее десятилетие достигнуто существенное углубление в теорию неравновесных процессов, происходящих при сгорании топлива в воздухе. Активно изучаются плазменные, оптические, радиочастотные и электрофизические методы воздействия на горение и детонацию. Эти новые направления физического воздействия и управления реакционной способностью имеют для энергетики интересные перспективы.

Для вычисления эмиссионных характеристик энерго- и двигательных установок на горении необходимо использовать детальные физико-химические модели процессов образования различных соединений. При этом приходится учитывать наличие в воздухе, помимо N_2 и O_2 , также и малых атмосферных составляющих (CO_2 , CH_4 , H_2O , H_2S , SO_2 , COS и др.). В настоящее время в Академии наук созданы детальные термодинамические и кинетические модели, описывающие образование различных загрязняющих соединений, важнейшими из которых являются оксиды азота, HNO_2 , HNO_3 , оксиды серы, различные ионы и сажевые частицы.

Оксиды азота (NO , NO_2), а также HNO_2 , HNO_3 оказывают заметное влияние на химию атмосферы, участвуя в каталитических газо- и гетерофазных циклах уничтожения озона и в образовании кислотных дождей. Оксиды серы, а также HSO_3 и H_2SO_4 приводят к формированию жидких сульфатных аэрозолей непосредственно в выхлопной струе или в окружающей атмосфере, вызывая увеличение площади сульфатного стратосферного аэрозольного слоя, что влияет на концентрацию озона в стратосфере и радиационный ба-

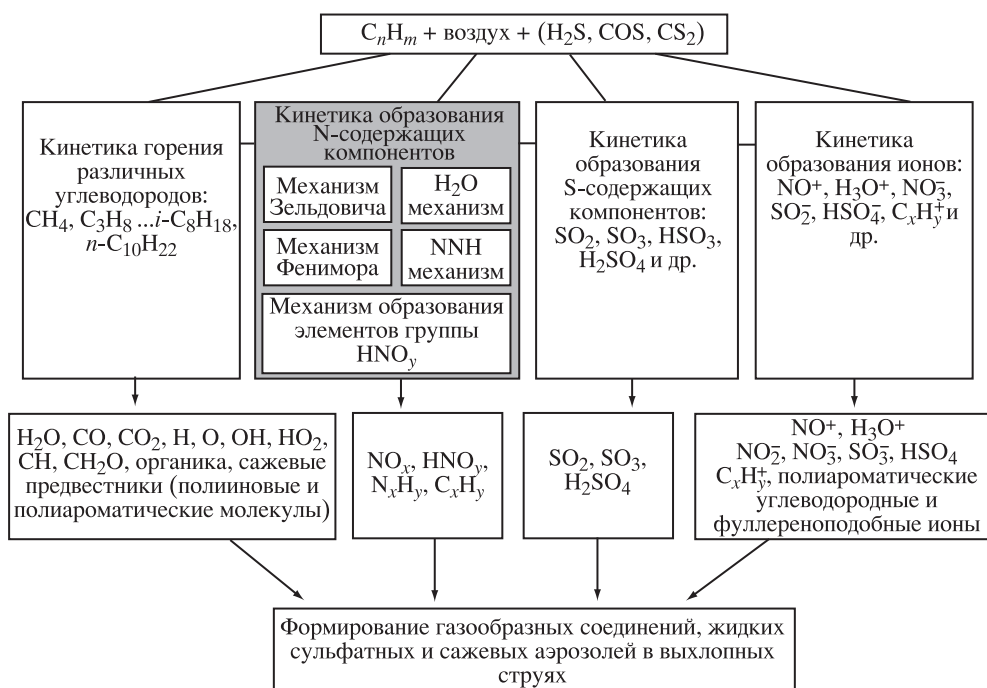


Рис. 3. Кинетическая модель горения углеводородных видов топлива в камерах сгорания реактивных двигателей и энергоустановок

ланс атмосферы, а следовательно, и на климат, и образование закисленных облаков в тропосфере.

Ионы, согласно последним исследованиям, ускоряют формирование аэрозольных частиц, инициируют появление заряда, и довольно значительного (до 40е), на сажевых частицах. Это ведёт к превращению их в эффективные ядра конденсации, стимулирующие формирование дополнительной облачности.

На рисунке 3 схематично показаны составляющие блоки для детальной кинетической модели горения углеводородных видов топлива, включающей более 2000 обратимых химических реакций и более 250 компонентов. При численном моделировании процессов горения и детонации сложная система кинетических уравнений редуцируется к более компактным интегральным соотношениям, делающим процессы доступными для содержательного расчета на суперЭВМ.

При каталитическом сгорании температура смеси определяется в основном температурой стенок, но, кроме того, входящие в такие камеры продукты до начала реакции окисления должны быть уже нагреты хотя бы до 450–550 °С. Именно эти камеры экологически самые чистые.

Ещё далеко не закончены исследования сложных физико-химических процессов горения и взрыва, детонации и дефларгации, чтобы надёжно управлять этими процессами и обеспечить безопасность современной энергетики. Среди нерешённых проблем – большая эмиссия в гетерогенных камерах; устойчивость горения в гомогенных; стоимость, температура и

эффективность катализаторов, условия возбуждения и переход горения в детонацию, кумулятивные явления при горении и детонации и многое другое. Этим заняты учёные и конструкторы.

У нас в академии созданы крупнейшие в мире экспериментальные стенды для подобных работ, оснащённые необходимой скоростной, электрофизической, цифровой, световолоконной, спектроскопической, оптической и рентгеновской диагностикой. На стендах можно проводить (и проводятся сейчас) работы по физике горения и взрыва, по взрыво-пожаробезопасности, по безопасности ядерной и водородной энергетики. В Институте термодинамики экстремальных состояний ОИВТ РАН существует крупнейшая в мире стальная взрывная камера весом 800 т диаметром 11 м, позволяющая проводить опыты по изучению горения, детонации и по разработке взрывных генераторов электроэнергии на уровне энерговыделения с тротильным эквивалентом до 1000 кг.

Следует подчеркнуть, что реализация горения в камерах сгорания напрямую связана с газодинамикой течения в них (потери давления и устойчивость) и с теплообменом (прочность конструкции при разных материалах и способах защиты стенок камер). Только совместное решение этих вопросов позволяет создать эффективные реальные конструкции.

Газовая динамика в энергетике определяет эффективность всех элементов энергосистем, и прежде всего их габариты и потери давления газа в них, входящие в полный коэффициент полезного действия. В энергетике именно механическая энергия на валах двигателей, работающих по разного рода циклам – внутреннего сгорания, паровым или газотурбинным, идёт на привод электрогенераторов. При совершенствовании тепловых циклов, то есть оптимизации степени повышения давления в них, снижении потерь по тракту во всех элементах, а при возможности и регенерации тепла, обеспечивают дополнительный рост КПД цикла и тем самым уменьшение затрат топлива. Современная газовая динамика в энергетике с развитием вычислительной техники получила возможность значительно сократить объём ранее проводимых сложных и дорогих экспериментальных работ.

Современные ЭВМ, соответствующие численные методы нестационарной механики сплошных сред позволяют детально описывать пространственные течения вязкого теплопроводного газа, включая возникновение и эволюцию вихревых структур вплоть до стадий развитой турбулентности, нелинейные стадии разнообразных неустойчивостей, а также нелинейные волновые, ударно-волновые, солитонные явления. При этом в перспективе только возрастает роль аналитических методов математической физики и теоретической газодинамики для содержательного анализа таких явлений.

Переход в последние 15–20 лет от обычных двумерных расчётов течений в сложных системах к трёхмерным нестационарным позволил существенно приблизиться в расчётах к реальной картине течений, которую ранее обычно давал только эксперимент. Учёт реальной “четырёхмерноеTM” позволил в последние годы при проектировании машин резко изменить, например, форму крупноразмерных лопаток вентиляторов в ГТД или последних ступеней в паровых турбинах, найти и устранить застойные зоны и скачки уплотнения. Это привело к заметному повышению реализованного за рубе-

жом на основе российских расчётов КПД лопаточных машин до 4% в ступени. Особенно эффективными стали трёхмерные расчёты полей давления в сложных входных устройствах, переходных каналах и др. Компьютерные расчёты течений двухфазных смесей, в частности, воздуха и водяного пара, высокотемпературных потоков многокомпонентных рабочих тел со сложными физико-химическими превращениями, с переносом излучения продолжают совершенствоваться и уже становятся надёжным инструментом в современной энергетике. Оработка этих методов и проверка их экспериментом резко сокращают сроки создания новой техники. Ясно, что роль численных методов расчёта газодинамики и теплообмена, роль современной прикладной математики и численного эксперимента будут значительно возрастать.

Теплообмен в теплоэнергетике естественно определяет все параметры оборудования и его эффективность, как топливную, так и весогабаритную. Так как в развитии и совершенствовании энергетических машин максимальная температура газов является ведущей, то её увеличение зависит прежде всего от жаропрочности применяемых материалов и совершенствования систем охлаждения основных горячих узлов. Так, например, за последние 50 лет развития газовых турбин совершенствование материалов увеличило температуру газов на 400 °С, а теплообмена – ещё на 500 °С. Сейчас уже эксплуатируются турбины с $T = 1500$ °С. В ближайшие годы возможна реализация T до 1700 °С.

Как правило, при отработке систем охлаждения теплонапряженных узлов главной задачей является предельное уменьшение расхода охлаждающей среды, так как почти не участвуя в расширительной части цикла, он снижает полный КПД. Движение охладителя – всегда газо- или гидродинамика. Задача исследователя найти оптимальное решение: эффективность – надёжность – стоимость. На рисунке 4 для примера показаны этапы усложнения системы охлаждения стенок. Конечно, идеал системы – высокотемпературная керамика и композиты. Но их принципиальные особенности, в первую очередь, стойкость к термоударам и цена, пока ограничивают их применение.

В ряде высокотемпературных устройств особую роль играет лучистый теплообмен (и особо от продуктов сгорания, определяющих степень “черноты” пламени), существенно повышающий тепловые потоки к стенкам. Здесь опять пересекаются горение, газодинамика и сложный теплообмен. Описание оптических свойств высокотемпературных рабочих сред основано на квантово-механических расчётах энергетического спектра, кинетике заселенностей, возбуждения и ионизации сложных многокомпонентных реагирующих химически активных сред. Имеющиеся в РАН комплексы компьютерных программ дают возможность выполнять такие вычисления с учётом неравновесности и неидеальности излучающей среды.

Ещё один пример, но уже комбинированного теплообмена – рабочая лопатка газовой турбины, в которой происходит превращение тепловой энергии в механическую работу. Это самая сложно и тяжело нагруженная конструктивная деталь в мире. Рабочие лопатки турбины первого ряда работают в экстремальных условиях, они раскалены добела – $T \sim 900\text{--}950$ °С. Центробежные и газодинамические силы, температурные перепады в стенках, вибрационные напряжения от потока и т.п. требуют создания новых прочных

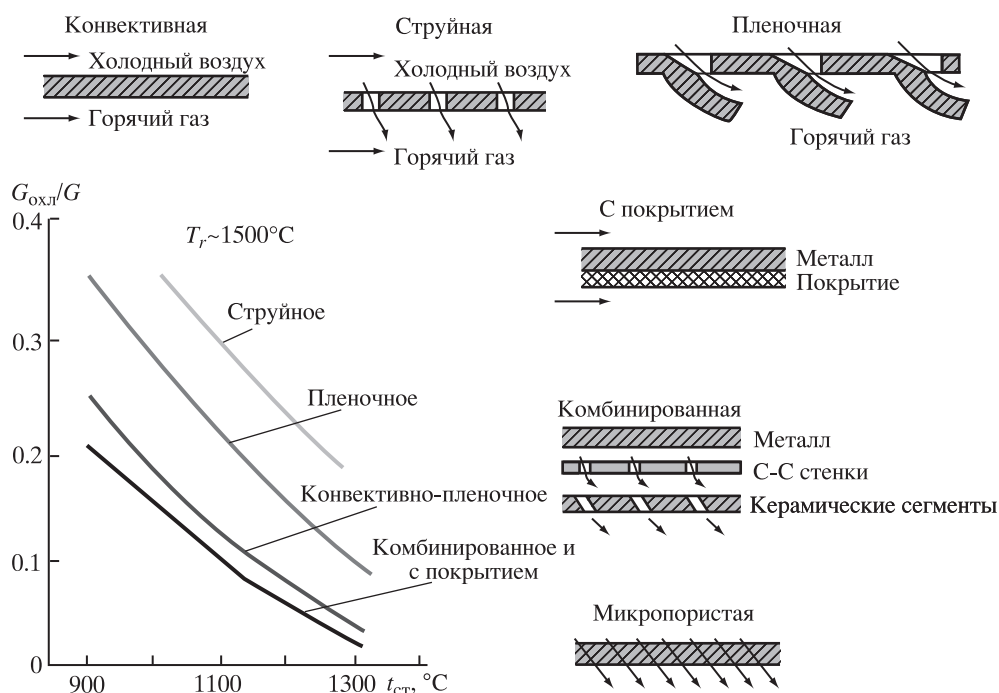


Рис. 4. Схема охлаждения стенок

высокотемпературных материалов и делают прочностные расчёты таких лопаток особенно сложными. Чтобы повысить термостойкость материаловеды при литье лопаток применяют направленную кристаллизацию, когда границы зёрен металла располагаются вдоль основных нагрузочных напряжений, переходя к монокристаллическим лопаткам.

Для повышения рабочей температуры цикла используется весь арсенал возможных методов: организация паровых или газовых завес, внутреннее охлаждение, организация термобарьерных керамических покрытий с их плазменным или электронно-пучковым напылением. Именно это позволило поднять рабочую температуру цикла до 1500 °С, обеспечивая высокую надёжность при ресурсе, достигающем 100 000 час – более 11 лет непрерывной работы.

Перед нами – ярчайший пример поиска компромисса в многофакторной задаче “газодинамика – теплообмен – прочность”, связанной одновременно с технико-производственными возможностями реализации в производстве: отверстий малого диаметра, малых толщин стенок лопатки и размеров каналов в ней, допустимой толщины термоизолирующих покрытий и др.

Для подобных разработок в энергетике привлекается опыт авиационно-космической техники. Неудивительно, что стоимость одной лопатки сравнима со стоимостью автомобиля. Европейское космическое агентство даже реализует проект выращивания турбинных лопаток в космосе. Задачи нашей науки ближайших десятилетий – обеспечить новый комплексный поиск компромисса в следующем поколении лопаток из высокотемпературных керамико-композитных материалов.

Применение и реализация тех или иных научно-технических идей приводит к продвижению по шкале температур и давлений и к увеличению КПД цикла.

Надо сказать, что сегодня методы численного моделирования гидродинамики и теплообмена в энергетике приобретают большую роль. Ни одно техническое устройство не создаётся без предварительного численного моделирования и оптимизации. Это позволяет экономить большие деньги и время на эксперимент, и доводку реальных конструкций.

Современный прогресс в теплоэнергетике связан в основном с использованием парогазовых силовых установок (ПГУ). Сегодня они являются настоящим произведением инженерного искусства и наиболее совершенными тепловыми устройствами. ПГУ основаны на соединении высокотемпературной газовой турбины с паротурбинной установкой, использующей тепло выходящих из газовой турбины газов.

Именно современные парогазовые установки, будучи основанными на самых последних достижениях энергетической науки и техники, обладают сегодня наибольшей экономичностью по выработке электроэнергии (КПД до 60%) и хорошими экологическими показателями, что делает их весьма привлекательными устройствами современной и будущей энергетики.

Атомная энергетика даёт около 17% вырабатываемой у нас электроэнергии. При этом выработка электроэнергии на АЭС по регионам весьма неравномерна. В европейской части она составляет 22%, в Центральном регионе – 29%, в Поволжье – 30%, на Северо-Западе – 40%.

Несмотря на определенное торможение в развитии ядерной энергетики, вызванное Чернобыльской аварией, в ряде стран она сохраняет прочные позиции. Во Франции 78%, а в Литве, Словакии, Бельгии, Швеции и Украине около 50% электроэнергии производится на АЭС. Привлекательной чертой атомной энергетики является отсутствие вредных выбросов (CO , CO_2 , NO_x и т.п.) и практически неограниченная ресурсная база. Современный вклад ядерной энергетики в мировой энергобаланс определяется не ограниченностью ресурсной базы, а проблемами безопасности АЭС, опасностью распространения ядерного оружия, сложностями проблем хранения и переработки отработанного топлива и оборудования АЭС.

Повышение безопасности остаётся одной из центральных проблем в атомной энергетике. Здесь разработаны разнообразные способы защиты реакторов – прочные конфайменты, поглотители водорода, ловушки для расплавленного топлива и т.д. Активно ведётся поиск схем реакторов с внутренней безопасностью, когда в схему подкритического реактора вводится внешний источник нейтронов, получаемых при помощи лазеров, ускорителей или Z-пинчей.

Обсуждаются высокотемпературные реакторы и особо для атомно-водородной энергетики, когда энергия атомных реакторов используется для получения водорода, экологически самого чистого энергоносителя. Большую перспективу имеют реакторы на быстрых нейтронах с расширенным воспроизводством топлива и замкнутым топливным циклом. Конечно, при этом возникает большое количество ответственных и сложных ядерно-физических, материаловедческих и теплофизических проблем.

Гидроэнергетика является сегодня наиболее масштабным возобновляемым источником энергии. В нашей стране установленная мощность ГЭС составляет 44.1 ГВт, что в 2 раза больше АЭС (21.3 ГВт), но в 3.5 раза меньше тепловых станций (150 ГВт).

Как и атомные, гидроэлектростанции расположены у нас в стране неравномерно – подавляющая их мощность сосредоточена в Сибири и на востоке страны. Ввиду очевидных трудностей переброски больших энерго мощностей в европейскую часть, основные потребители дешёвой гидроэнергии расположены рядом с ГЭС. Наша страна чрезвычайно богата гидроэнергоресурсами, но масштабы развития гидроэнергетики лимитируются неоптимальным их размещением, значительными сроками и затратами на сооружение ГЭС, а также с экологическими проблемами. Энергетическая стратегия России предполагает сохранение сегодняшней доли ГЭС в энергобалансе страны и преимущественное развитие гидроэнергетики в восточных регионах, где её доля может достигать 80% всего энергопроизводства.

Переходя к электро-энергофизике, надо сказать, что стоящие здесь научные проблемы связаны прежде всего с повышением качества и надёжности энергогенерирующего, передающего и распределительного электрооборудования, а также со снижением электрических потерь в линиях электропередач, которые у нас в 1.5–2 раза выше общемировых и достигают 10–15%.

Сверхпроводимость и особенно её высокотемпературный сектор остаётся наиболее перспективным направлением работ. За последние годы здесь произошёл серьёзный прорыв, связанный с ростом критической температуры сверхпроводящего перехода, который вышел за температуру кипения жидкого азота. Как и прежде, конечная цель – “комнатная” сверхпроводимость и высокие плотности электрического тока в сверхпроводящем состоянии. Широко ведутся работы по созданию индуктивных накопителей, ограничителей тока, сверхпроводящих кабелей и соленоидов, магнитных систем, моторов и трансформаторов. В ряде масштабных физических установок (ускорители заряженных частиц, устройства управляемого термоядерного синтеза, магнитные сепараторы) для создания магнитных полей уже сейчас широко используются сверхпроводящие магниты.

Одна из серьёзных проблем современной энергетики состоит в качественном преобразовании и управлении электрическими токами различной мощности, что оптимальным образом может быть осуществлено с использованием сильноточных полупроводниковых приборов. В настоящее время у нас около 30% вырабатываемой электроэнергии проходит через те или иные полупроводниковые преобразователи, в то время как в США эта цифра доходит до 60%.

Большой прогресс в физике полупроводниковых приборов, полученный благодаря работам Ленинградского физтеха, привёл к созданию сильноточных полупроводниковых приборов, весьма надёжных и эффективных для управления значительными мощностями в энергопередающих, распределительных, ограничительных устройствах, транспорте и в быту. Созданы и успешно работают полупроводниковые устройства в электроприводах, а также вставки постоянного тока между энергосистемами на 250 кВт, 300 МВт. Последнее направление особенно важно для передачи электроэнергии в соседние страны. Особые перспективы здесь связаны с переходом

на карбид кремния и широком внедрении силовых полупроводниковых приборов для управления, для повышения качества и надежности электроэнергетики России.

Говоря об электрофизике управления большими мощностями, особо следует отметить пионерские работы академика Г.А. Месяца по мощной импульсной электронике, получившей сегодня мировое признание и широкое применение. Используя различные, в том числе и полупроводниковые методы временной компрессии и формирования импульсов, сегодня люди научились управлять гигантскими (мегаамперными) токами и тераваттными мощностями, сопоставимыми с мощностью всех электростанций Земли.

Создан широкий спектр устройств импульсной энергетики, применяемой для проверки надёжности и устойчивости энергосистем, для генерации рекордных по мощности импульсов СВЧ-излучения, а также для прямого преобразования химической энергии в мощное электромагнитное излучение.

Одной из острейших проблем современной энергетики является проблема надёжности и устойчивости энергосистем по отношению к природным и террористическим воздействиям. Так, только прямые потери от удара молний в линии электропередач и распределительное оборудование достигают сегодня 1–2 млрд долл. Для натурного испытания и повышения надёжности энергосистем сотрудниками ИТЭС ОИВТ РАН и ЭНИН РАО ЕЭС был создан мобильный имитатор удара молний. В качестве энергоисточника использован взрывомagnetный генератор А.Д. Сахарова, основанный на взрывной компрессии магнитного потока – первое в мире устройство подобного типа было удачно испытано на подстанции “Донино”. Оно показало уязвимые места промышленного электрооборудования, которые необходимо усилить.

Надо сказать, что, кроме очевидных проблем, повышения надёжности энергосистем по отношению к природным воздействиям, в настоящее время особую остроту и актуальность приобрела задача предотвращения террористических воздействий на энергоструктуры. Речь идёт об обеспечении энергетической безопасности страны. В институтах РАН ведутся работы по энергетической безопасности, включая анализ и поиск уязвимых мест в энергосистемах, анализ возможных методов террористических воздействий и разработка контртеррористических мероприятий технического и системного характера.

Говоря о полупроводниковых преобразователях, нельзя не сказать о солнечной энергетике, как экологически чистом возобновляемом источнике, прямым образом использующем энергию термоядерных реакций на Солнце – главном энергетическом источнике Земли. Здесь лидируют работы нашего нобелевского лауреата академика Ж.И. Алфёрова по многослойным гетероструктурным преобразователям, использующим максимально широкий спектральный диапазон падающего излучения, давшим чрезвычайно высокий, близкий к теоретическому пределу КПД. Созданные Ж.И. Алфёровым полупроводниковые солнечные преобразователи широко используются для энергопитания искусственных спутников и космических аппаратов. Многие страны ведут масштабные программы по солнечной энергетике, по снижению стоимости и повышению эффективности фотоприёмников. Важно, что наша наука занимает здесь достойное место.

Если солнечная энергетика использует термоядерные реакции на Солнце, то управляемый термоядерный синтез призван использовать энергию термоядерных реакций, происходящих в горячей плазме на Земле. Пока что такой способ получения энергии успешно реализован людьми лишь в термоядерном оружии. Для зажигания термоядерных реакций нужны экстремально высокие температуры – 100 млн градусов, а нагретая до этих температур плазма должна быть либо изолирована магнитным полем, либо сжата до высоких плотностей – 100 гр./см³ и гигантских давлений в миллиарды атмосфер. Последнее направление – инерционный термоядерный синтез – был успешно реализован 50 лет назад в водородной бомбе. Ведущиеся в этом направлении работы основаны на использовании вместо ядерного запала мощных лазеров, потоков ионов или рентгеновского излучения сильноточных Z-пинчей для импульсного сжатия и разогрева термоядерной плазмы.

В альтернативном инерционном направлении термоядерных исследований – “магнитному термояду” удержание разогретой электрическим током, пучками заряженных частиц и СВЧ-излучением плазмы осуществляется магнитным полем, препятствующим соприкосновению горячей плазмы со стенками реактора. Идея магнитного термояда принадлежит академикам А.Д. Сахарову и Е.И. Тамму. Среди различных схем магнитных термоядерных машин лидирует сейчас тороидальная схема ТОКАМАК, придуманная академиком Л.А. Арцимовичем.

В последнее время работы по управляемому термоядерному синтезу с магнитным удержанием получили новый импульс благодаря активным усилиям академика Е.П. Велихова, инициировавшего работы по международному реактору ITER. Здесь возникает множество увлекательных и сложнейших фундаментальных и инженерных проблем физики плазмы, магнитной динамики, материаловедения, сильноточной электроники.

Таким образом, мы видим, что для решения стоящих перед энергетикой новых ответственных задач необходимы энергичные и скоординированные усилия практически всех направлений академической и прикладной науки. Необходима разработка масштабной программы создания новой энергетики страны, в которой наука может и должна занять достойное место.

Мы благодарим наших коллег, помогавших нам в подготовке этого сообщения – членов-корреспондентов РАН А.А. Макарова, Э.П. Волкова, И.В. Грехова, Э.Э. Шпильрайна и Н.А. Черноплёкова.

Литература

1. *Фортов В.Е., Шпильрайн Э.Э.* Энергия и энергетика. М.: БОКОС, 2004.
2. *Фортов В.Е., Макаров А.А.* Приоритеты энергетической стратегии России // Перспективы энергетики. 2003. № 2.
3. *Фаворский О.Н.* Энергообеспечение России в ближайшие 20 лет // Вестник РАН. 2001. № 1.
4. *Конторович А.Е., Добрецов Н.Л., Лавёров Н.П., Коржубаев А.Г., Лифшиц В.Р.* Энергетическая стратегия России в XXI веке // Вестник РАН. 1999. № 9.
5. *Волков Э.П., Баринов В.А., Маневич А.С.* Проблемы и перспективы развития энергетики России. М.: Энергоиздат, 2001.

ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Академик Н.П. Лавёров

Ресурсное обеспечение энергетического сектора современной экономики – одна из ключевых глобальных проблем. Материалы, положенные в основу статьи, разнообразны и неоднозначны. Они содержат противоречивые оценки имеющихся в мире и России топливно-энергетических ресурсов. Соответственно, во многом, субъективными являются и прогнозы их восполнения как в ближайшем будущем, так и на дальнюю перспективу, например до 2050 г. и в целом на XXI в.

В последние годы почти еженедельно в мире и в нашей стране проводятся различные энергетические форумы, конференции, семинары, “круглые столы”, часто весьма политизированные или посвященные частным проблемам. В многочисленных журнальных статьях, научных трудах конференций и особенно в газетных публикациях, на радио и телевидении звучат пугающие общество предостережения о скором исчерпании привычных природных топливно-энергетических ресурсов. Одновременно с неоправданной оптимистичностью предсказывается возможность их быстрой замены новыми альтернативными источниками энергии.

В этой связи представляется необходимым, хотя бы кратко, рассмотреть вначале – какие природные источники известны сегодня и как решалась ресурсная проблема энергетики в недавнем прошлом. Затем более подробно осветить современное состояние и возможные перспективы.

Природные источники энергии. Существует много схем подразделения природных источников энергии, в основу которых положены различные принципы. На одной из таких схем (рис. 1) выделяются две основные группы: невозобновляемые и возобновляемые, альтернативные источники энергии. В свою очередь, невозобновляемые ресурсы представлены двумя типами – традиционные и нетрадиционные. К первому типу относятся жидкие и газообразные углеводороды, угли и высококачественные урановые руды.

Среди нетрадиционных природных источников энергии до некоторой степени условно выделены два вида: пригодные к освоению в XXI в. и перспективные источники энергии, широкое освоение которых возможно лишь в следующем веке.

Геологические ресурсы углеводородов и их запасы. Потенциальные геологические ресурсы обычно определяются на основе фундаментальных геологических исследований, учитывающих накопленный опыт комплексного изучения территорий и морских акваторий, нефтегазоносных и угольных бассейнов, огромный материал геологоразведочных и горных работ. Прогнозная оценка геологических ресурсов углеводородов приведена на рис. 2.

По нашей оценке традиционные ресурсы углеводородов, тяжёлых нефтей и битумов, а также газа и нефти в низкопроницаемых коллекторах, составляют 3.5×10^{12} т нефтяного эквивалента (т н.э.). Среди нетрадиционных особенно велики геологические ресурсы газогидратов суши и акваторий и водорастворённые газы континентов.



Рис. 1. Основные природные источники энергии

В процессе геологоразведочных работ идёт последовательное превращение потенциальных геологических ресурсов в разведанные запасы, подготовленные к освоению. Соответственно, в Государственном балансе запасов России выделяются запасы предварительно и детально разведанных месторождений и месторождений, находящихся в разработке, с отражением доли их извлекаемой части. При этом в ТЭО и проектах разработки месторождений определяются необходимые экономические показатели будущего горного предприятия. Так, по оценке М.Д. Белонина, из имеющихся геологических ресурсов циркумполярных бассейнов, весьма важных новых источников нефти, извлекаемые составляют 21.7 млрд т н.э., технически доступные – лишь половину из них (10.9 млрд т н.э.). Рентабельные, при цене 100 долл. за баррель, – 33% (7.2 млрд т н.э.), при цене 55 долл. – 20% (4.3 млрд т н.э.), а 40 долл. – лишь 9% (2 млрд т н.э.). Разумеется, эти соотношения базируются на современных, освоенных технологиях добычи и транспорта нефти. При создании новых технологий, приведённые соотношения могут быть существенно изменены в сторону увеличения доли доступных ресурсов.

Мировые тенденции в освоении энергетических ресурсов. Возрастающее потребление невозобновляемых природных энергетических ресурсов определяется стремительным ростом населения Земли и его потребностей. В XX в. потребление коммерческих энергетических ресурсов увеличилось в 15 раз. С 1975 по 2005 г. оно превысило объём их использования за весь предшествующий период развития человеческой цивилизации и достигло в 2005 г. 15 млрд т условного топлива (т у.т.) в год.

В суммарном энергопотреблении к началу XXI в. в мире доля нефти составляла 40%, углей – 27%, газа – 23%, атомной электроэнергии – 7%, гидроэнергии, солнечной и ветровой – 3%. В балансе энергоисточников России ведущую роль играл природный газ – 52%, нефть – 23%, а уголь – лишь 19%. На атомную энергетику приходилось 4%, а доля гидроресурсов, ветровой и солнечной энергии в сумме составляли также лишь 3%.

Если до 70-х годов в энергопотреблении опережающими темпами росла нефтяная составляющая, то в 80-х годах, после преодоления нефтяного кризиса, в большинстве индустриально развитых стран произошло заметное снижение доли нефти, увеличилась доля углей, природного газа и атомной энергии. Эта тенденция характерна и для Китая, где в 2000–2005 гг. добыча углей увеличилась вдвое – почти до 2.0 млрд т/год. Также быстро растёт потребление углей в других странах Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) и в Северной Америке. В результате, доля углей в мировом потреблении первичной энергии в 2004 г. превысила уровень, достигнутый к концу XX в. В то же время возобновляемые альтернативные источники по-прежнему не играют существенной роли.

Потребление первичной энергии распределено по странам и регионам крайне неравномерно. На рисунке 3 приведены уровни её потребления в 20 странах мира в 2005 г. Видно, что США, Китай и Россия – основные потребители энергоресурсов: на них приходится более 40%.

Несомненный интерес представляет вопрос, как же изменялась структура потребляемых энергоресурсов во времени? Анализ свидетельствует, что в энергетическом ресурсопотреблении проявляются важные закономерности, которые находятся в тесной взаимосвязи с научно-техническим прогрессом и в целом с развитием экономики.

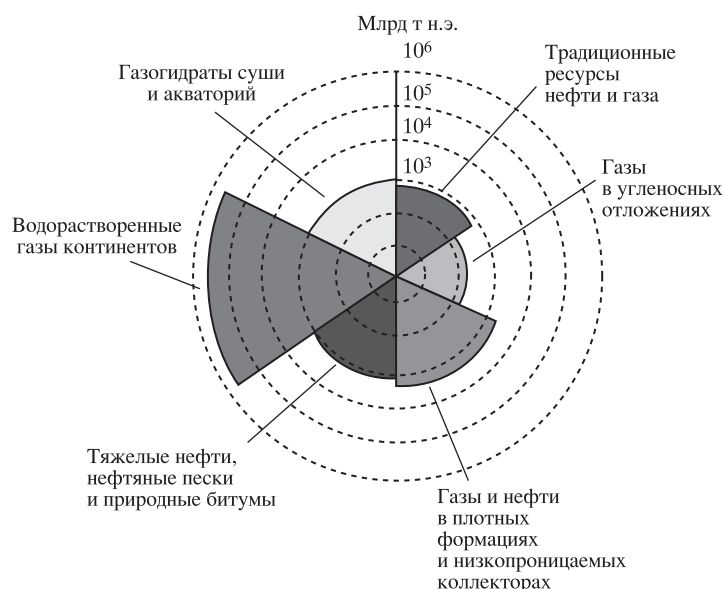


Рис. 2. Геологические ресурсы углеводородов

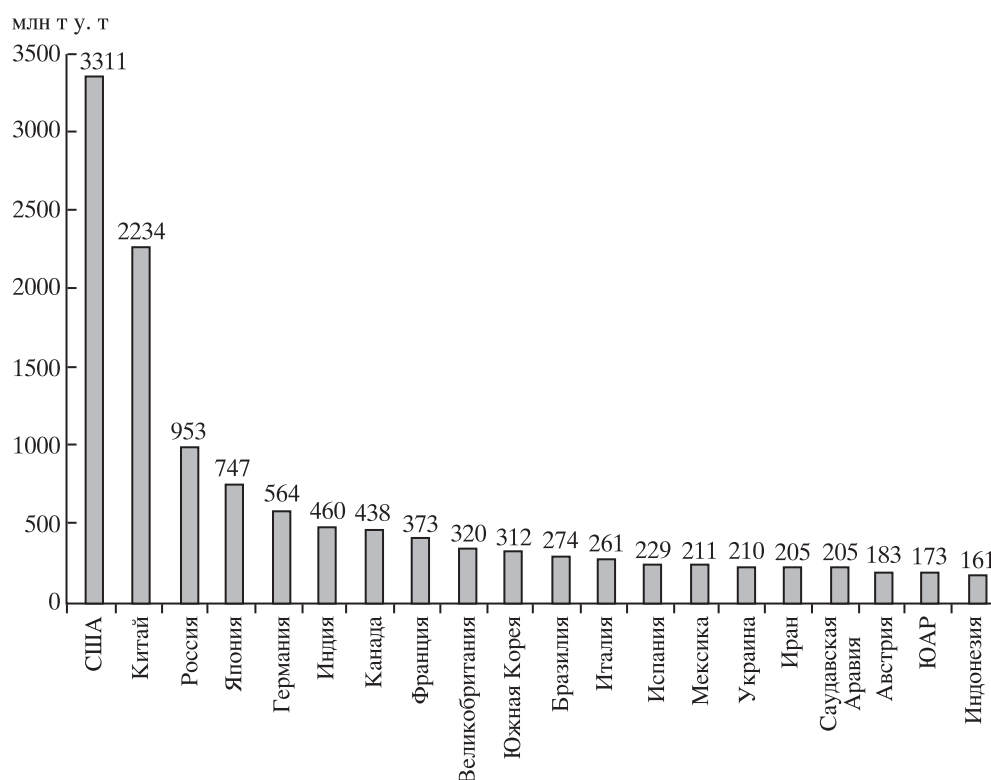


Рис. 3. Потребление первичной энергии в 20 странах – крупнейших потребителях в 2005 г. (млн т у.т.)

Динамика распределения потребляемой в мире энергии по её источникам в XX в. показана на рисунке 4. Видно, что количество существенных источников энергии за 100 лет увеличилось с двух до шести. Характерно, что ни один из новых для XX в. источников не имеет тенденции к сокращению их производства в физических объёмах. Они постепенно переходят в категорию традиционных, хотя в балансе имеют разную долю. Современные прогностические споры чаще всего и сводятся к определению этой доли в будущем.

Один из прогнозов изменения доли основных видов энергосырья для мирового энергопотребления до 2100 г. (в нефтяном эквиваленте) начинает частично оправдываться уже сегодня: увеличивается доля углей; традиционные источники нефти с 2020 г. сокращаются, но они замещаются битумами, а также новыми источниками нефти и газа (рис. 5). Доля природного газа остаётся значительной. С 2050 г. существенно возрастает потребление нетрадиционных, альтернативных источников энергии, доля которых к 2100 г. достигнет 50%. Более глубокие разработки сценариев использования энергетических ресурсов обычно относятся к коротким прогнозным периодам. Так, по прогнозу энергетической информационной администрации США (US EIA) на период до 2025 г. глобальное потребление первичных энергетических ресурсов в 2010 г. составит более 16 млрд т у.т., в 2020 г. – почти

на 20 млрд, в 2025 г. – около 22 млрд т у.т. (рис. 6). Среднегодовой темп прироста энергопотребления в мире за этот период составит 1.9%. Наиболее быстро использование энергии будет расти в развивающихся странах АТР, в том числе в Китае – на 3.5%, и Индии – на 3.2% в год.

В глобальной структуре потребления энергии к 2025 г. предполагается увеличение доли газа до 28.4%, при значительном сокращении доли атомной энергии до 4.5%.

Сокращение темпов производства энергии на АЭС вызвано серьёзными проблемами обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и высокоактивными отходами (ВАО). Всё большее внимание уделяется проблеме распространения чувствительных ядерных технологий и материалов, и в целом – совершенствованию управления радиационной безопасностью в мире.

Дальнейший рост использования атомной энергии намечается в 40–50-е годы и связывается с её переводом на реакторы на быстрых нейтронах с замкнутым топливным циклом. Предполагается возможность трансмутации в них накопленных плутония и минор-актинидов. Речь идёт о создании атомной энергетики с реакторами нового поколения. Удельный расход урана в этом случае существенно сократится. Значительно уменьшатся и ВАО. Реакторы на быстрых нейтронах резко сокращают потребление природного урана, ресурсы которого достаточны до 2100 г. Роль других энергоносителей в мировом топливно-энергетическом балансе до 2025 г. принципиально не изменится.

Энергетические ресурсы России. Наша страна относится к числу стран, располагающих крупнейшими природными энергетическими ресурсами. К примеру, в государственном балансе запасов учтено более 2500 месторождений нефти и природного газа. Они размещены неравномерно, отличаются по запасам и стадиям освоения. Большая часть месторождений находится в распределённом фонде, используемом в основном крупными компаниями. Основная часть разведанных запасов углеводородов располагается в Западной и Восточной Сибири, на морском шельфе Сахалина, Карского и Баренцева морей. Потенциально нефтегазоносные провинции занимают огромные площади и резко отличаются по степени геологической изученности и прогнозным ресурсам.

Из всех начальных суммарных ресурсов нефти в России 16% составляет накопленная добыча, 17% – детально разведанные и 8% – предварительно оценённые запасы. Перспективные и прогнозные ресурсы близки к 60%. На накопленную добычу природного газа приходится всего лишь 5% от начальных суммарных ресурсов; на детально разведанные запасы – 20%, на предварительно оценённые – 7%. Перспективные и прогнозные ресурсы составляют 68%. Таким образом, Россия пока не вышла из начальной стадии освоения своих ресурсов нефти и газа.

Оптимистический вариант прогноза добычи нефти до 2020 г., заложенный в Энергетическую стратегию, и данные анализа специалистов и учёных на период до 2050 г. даны на рисунке 7. Анализ показывает, что до 2010–2012 гг. нефть в России будет добываться из разрабатываемых и подготовленных ранее к освоению месторождений. Ввод в эксплуатацию новых объектов потребуется с 2012 г., а с 2020 – интенсивное освоение новых нефтегазоносных

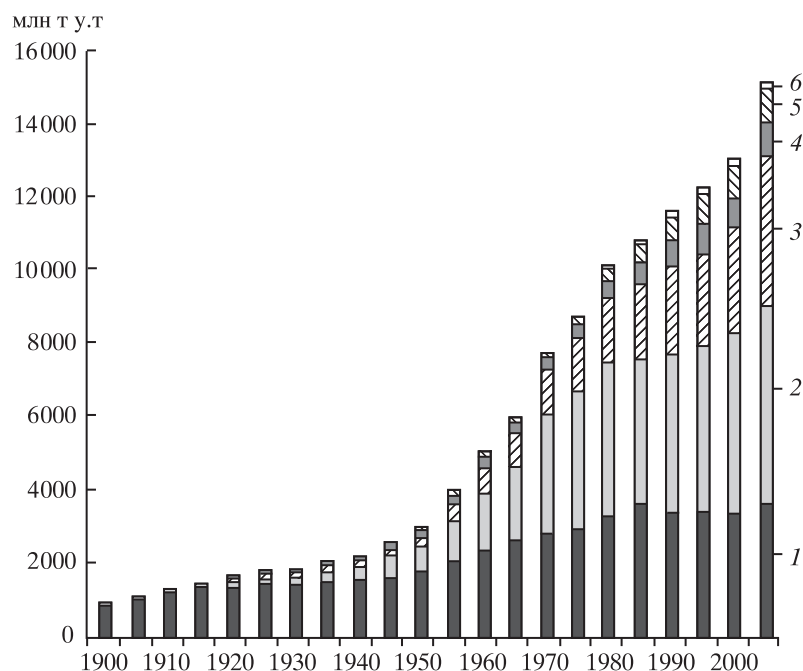


Рис. 4. Динамика распределения потребляемой в мире энергии по ее источникам в XX в. (млн т у.т.)

1 – уголь, горючие сланцы, торф; 2 – нефть и нефтепродукты; 3 – газ; 4 – гидроэнергия; 5 – атомная энергия; 6 – биомасса, ветровая, геотермальная и другие виды энергии

бассейнов Восточной Сибири, Севера европейской части страны, морского шельфа и некоторых других. Эту задачу можно успешно решить лишь при условии значительного увеличения объёмов геологоразведочных работ в ближайшие годы.

Доля добытых и подготовленных к освоению запасов углей в суммарных начальных ресурсах составляет около 2%, урана – не более 3%. Соответ-

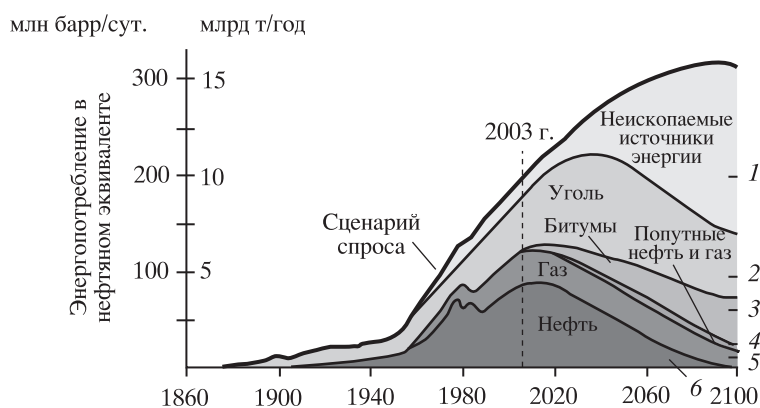


Рис. 5. Прогноз изменения доли основных видов энергосырья в обеспечении мирового энергопотребления

1 – неископаемые источники энергии; 2 – уголь; 3 – битумы; 4 – попутные нефть и газ; 5 – газ; 6 – нефть

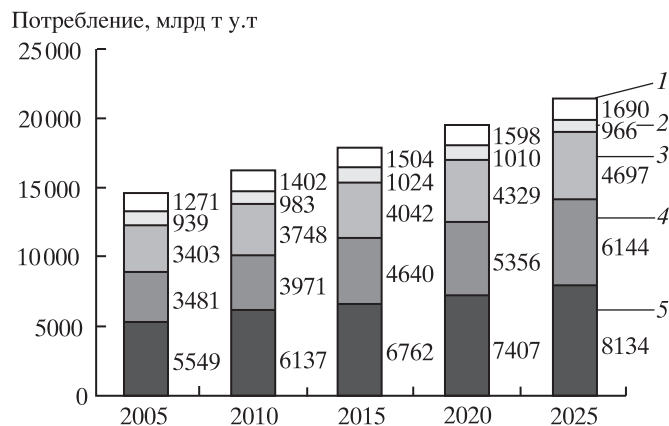


Рис. 6. Прогноз потребления энергетических ресурсов в мире до 2025 г.
1 – ВНИЭ; 2 – ядерная; 3 – уголь; 4 – газ; 5 – нефть

ственно, перспективные и прогнозные ресурсы этих природных источников энергии также находятся на ранней стадии освоения. Существенным недостатком сырьевой базы углей является географическое размещение освоенных угленосных бассейнов. На долю бассейнов, расположенных в восточных регионах страны, приходится почти 80% углей, в то время как в европейской части, на Урале, по существу, не созданы необходимые предпосылки для развития угледобычи в будущем.

Проблема ресурсов урана как в мире, так и в России приобрела большое значение лишь во второй половине XX в., после создания атомного оружия и в связи с развитием атомной энергетики. За 50 лет в мире добыто около 1.5 млн т урана. Из них 2/3 приходятся на СССР, США и Канаду. Начальные ресурсы урана мира пока ещё слабо изучены, но оцениваются не менее 6.0 млн т.

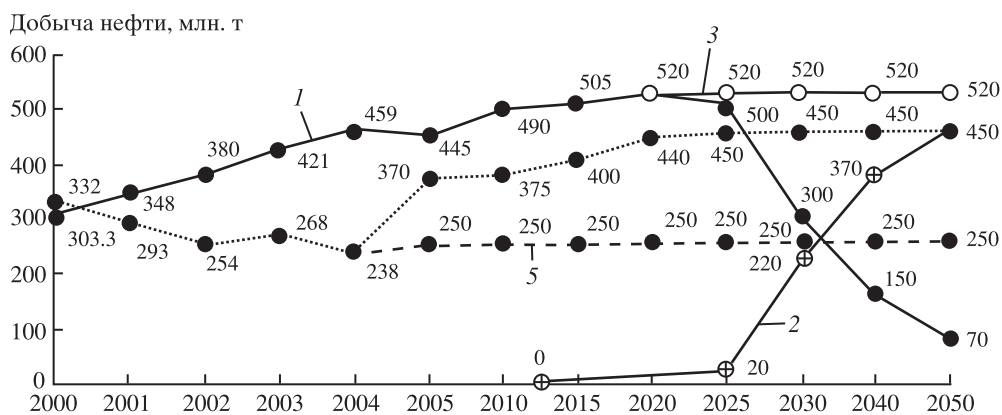


Рис. 7. Добыча нефти до 2050 г. в Российской Федерации: до 2004 г. – факт; до 2020 г. – оптимистический вариант энергетической стратегии; до 2050 г. – прогноз

1 – добыча из открытых, в том числе разрабатываемых месторождений; 2 – добыча нефти из новых месторождений; 3 – общая добыча; 4 – прирост запасов (с 2005 г. прогноз МПР России); 5 – прирост запасов при сохранении нормативно-правового режима пользования недрами

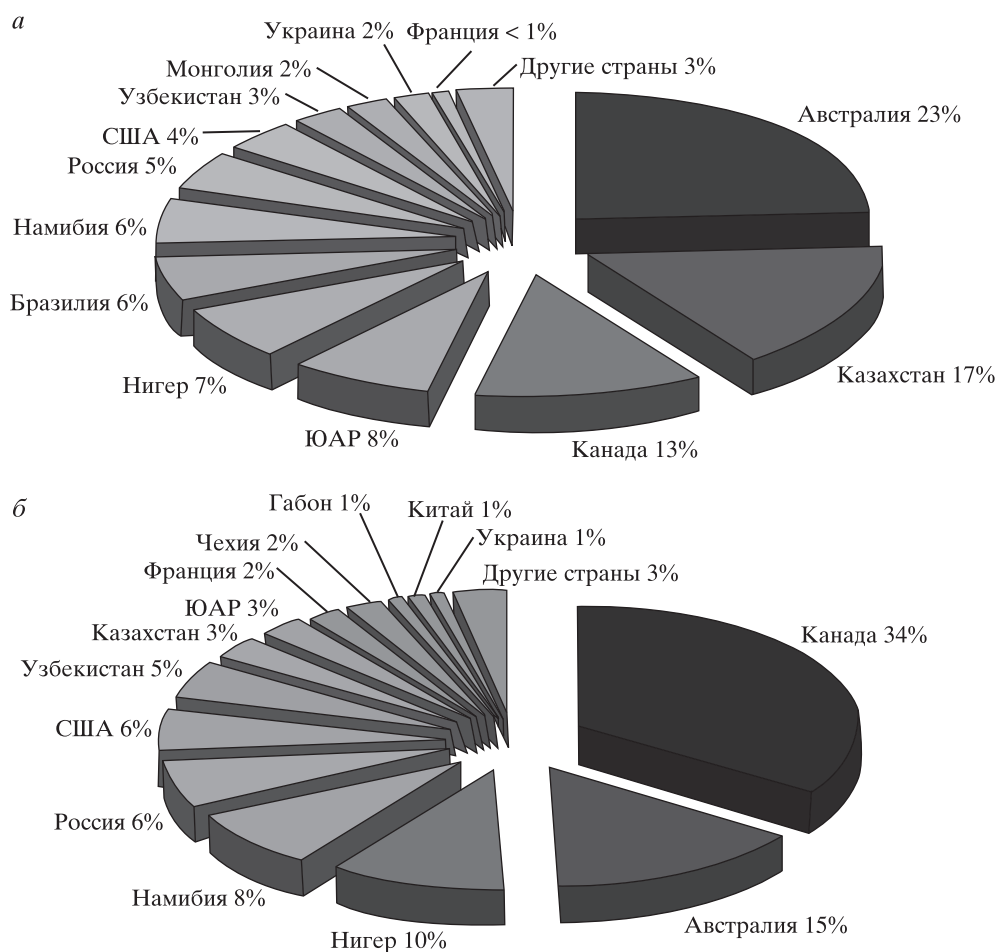
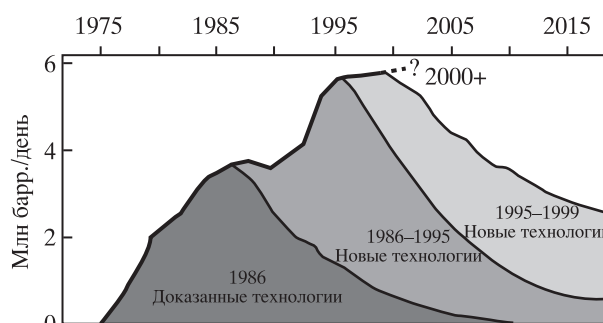


Рис. 8. Структура мировых запасов и производства урана
а – запасы; *б* – добыча

Распределение по странам мировых разведанных запасов урана себестоимостью меньше 80 долл. за 1 кг крайне неравномерно (рис. 8а). Ведущую роль играют Австралия, Казахстан – 17%, и Канада – 13%, на долю которых приходится 54% запасов. Разведанные запасы России составляют 3.5 млн т (5% от суммарного количества), в нашей стране сегодня работает только одно горнодобывающее предприятие и несколько опытных установок подземного выщелачивания урана. В 2005 г. добыто лишь 3.2 тыс. т урана (6%) из 40.5 тыс. т мировой добычи. Ведущая роль в добыче урана сегодня принадлежит Канаде, Австралии и Нигеру (рис. 8). Напомню, что в последние годы перед распадом СССР союзные и совместные со странами СЭВ горные предприятия добывали ежегодно до 25.0 тыс. т урана. Поэтому в 90-е годы и сегодня атомная энергетика России пока использует его складские запасы. Но дефицит будет нарастать и к 2020 г. составит не менее 15 тыс. т. Для погашения дефицита необходимо форсировать геологоразведочные работы и строить новые добывающие предприятия.

Рис. 9. Влияние технологии на добычу нефти в Северном море



О рациональном использовании энергоресурсов. Добыча и поставка на рынок миллионов тонн топливно-энергетического сырья – сложнейший процесс превращения природного ресурса в коммерческий продукт. Энергетическое сырьё – “не божий дар”, каким считают его некоторые малокомпетентные люди. Для его получения человечество мобилизует мощный интеллектуальный потенциал, огромные человеческие, материальные и финансовые ресурсы. Руководители ведущих стран уделяют большое внимание энергетической безопасности, и в частности ресурсному блоку этой проблемы. Думаю, что в конструктивной деятельности “восьмёрки” в следующем году, под председательством В.В. Путина эта проблема может быть одной из главных.

Россия сегодня имеет уникальные ресурсные возможности для решения острых энергетических проблем, ставших глобальными в XXI в. К сожалению, следует подчеркнуть, что в реализации этих возможностей имеются серьёзные упущения и недостатки. Пожалуй, главным среди них, порожденным реформами последних 15 лет, является резкое отставание геолого-разведочных работ, направленных на восполнение запасов энергетического сырья, подготовленного к добыче. Начиная с 1993 г. детальная разведка новых запасов нефти и газа не восполняла их добычу. Более чем в 2 раза были уменьшены объёмы глубокого параметрического, поискового и разведочного бурения – с 4.5 млн м³ в 1990 г. до 1.2 млн в 2003 г. Резко сократились научно-исследовательские, геофизические, геологические и геохимические работы, а также поиски новых перспективных объектов. К тому же за эти годы, без серьёзных обоснований, в погоне за высокой рентабельностью было изъято из государственного баланса (списано) более 5 млрд т разведанных запасов нефти, на подготовку которых затрачены огромные средства.

Основным недостатком в управлении ресурсами является неудовлетворительное правовое обеспечение. Всем хорошо известны серьёзные недочёты действующего Закона “О недрах”. Однако, к сожалению, разработка приемлемого прогрессивного документа, нормализующего недропользование, пока ещё не завершена.

В ближайшем будущем предстоит вовлекать в добычу всё большее количество средних и небольших по запасам месторождений углеводородов. Эффективная работа в данных условиях определяется планомерным технологическим обновлением производства. На это указывает опыт лучших нефтедобывающих фирм, сумевших за последние 20–25 лет освоить несколько поколений новых технологий. Например, за счёт смены технологий добыча нефти в Северном море в 1976–1986 гг. возросла до 3.8 млн барр. в день. За период 1986–1995 гг. она достигла 5.5 млн барр. Начиная с 1995 г. до 2000 г. она увеличилась до 6 млн барр. в день (рис. 9). Постоянное обновление тех-

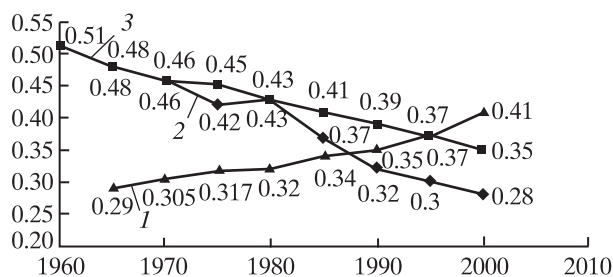


Рис. 10. Сравнительная динамика нефтеотдачи в России и США

1 – США; 2 – в России по периодам; 3 – динамика средней проектной нефтеотдачи в России

нологий позволило компании Shell за период с 1990 по 2000 г. уменьшить затраты на добычу 1 т нефти на глубоководных месторождениях более чем в 2.5 раза.

К сожалению, технологический прогресс работ по добыче углеводородов в нашей стране не удовлетворяет современным требованиям. Несмотря на всё более широкое привлечение зарубежных, геофизических, буровых и других так называемых “сервисных” инжиниринговых фирм, он остаётся на низком уровне. По всем основным показателям инновационной деятельности, включая обновление основных фондов, технологическое перевооружение и инвестиции в научно-техническую деятельность, геологоразведочные и горнодобывающие предприятия России сильно отстают от зарубежных аналогичных фирм. Так, инвестиции в основной капитал на 1 т добытой нефти в ведущих российских компаниях ТЭКа в 2 раза меньше, чем в зарубежных компаниях.

Особое беспокойство вызывает значительное снижение коэффициента нефтеотдачи и рост безвозвратных потерь разведанных запасов нефти в недрах при её добыче. Этот показатель должен входить в число важнейших характеристик эффективности освоения месторождений, служить основой для принятия мер экономического стимулирования наиболее полного использования невозобновляемого природного ресурса.

В 1986–1990 гг. добыча нефти за счёт применения комплекса тепловых, газовых и физическо-химических методов воздействия на пласт возросла с 5.5 до 12 млн т в год. Методы увеличения нефтеотдачи были предусмотрены в проектах для разработки многих месторождений, суммарные балансовые запасы нефти которых превышали 5 млрд т. К сожалению, после 1992 г. масштабы применения этих высокoeffективных технологий значительно сократилось.

Сравнительная динамика нефтеотдачи в России и США за последние 50 лет приведена на рисунке 10. Несмотря на то что в США компании давно перешли на освоение мелких месторождений, им удаётся за счёт применения новых технологий, увеличивать нефтеотдачу пласта. С 1965 по 2000 г. коэффициент нефтеотдачи пласта увеличился с 0.29 до 0.41.

В нашей стране падение нефтеотдачи началось ещё в СССР. В 1960 г. она достигала 0.51, а к 1990 г. уменьшилась до 0.39. К 2001 г. проектная нефтеотдача уменьшилась до 0.35, а фактическая составила лишь 0.28 [1]. На наш взгляд, плодотворные широкомасштабные работы по повышению нефтеотдачи пластов, начатые в 80-х годах в СССР, должны быть продолжены. Необходимость их развития обусловлена тем, что структура качества запасов нефти

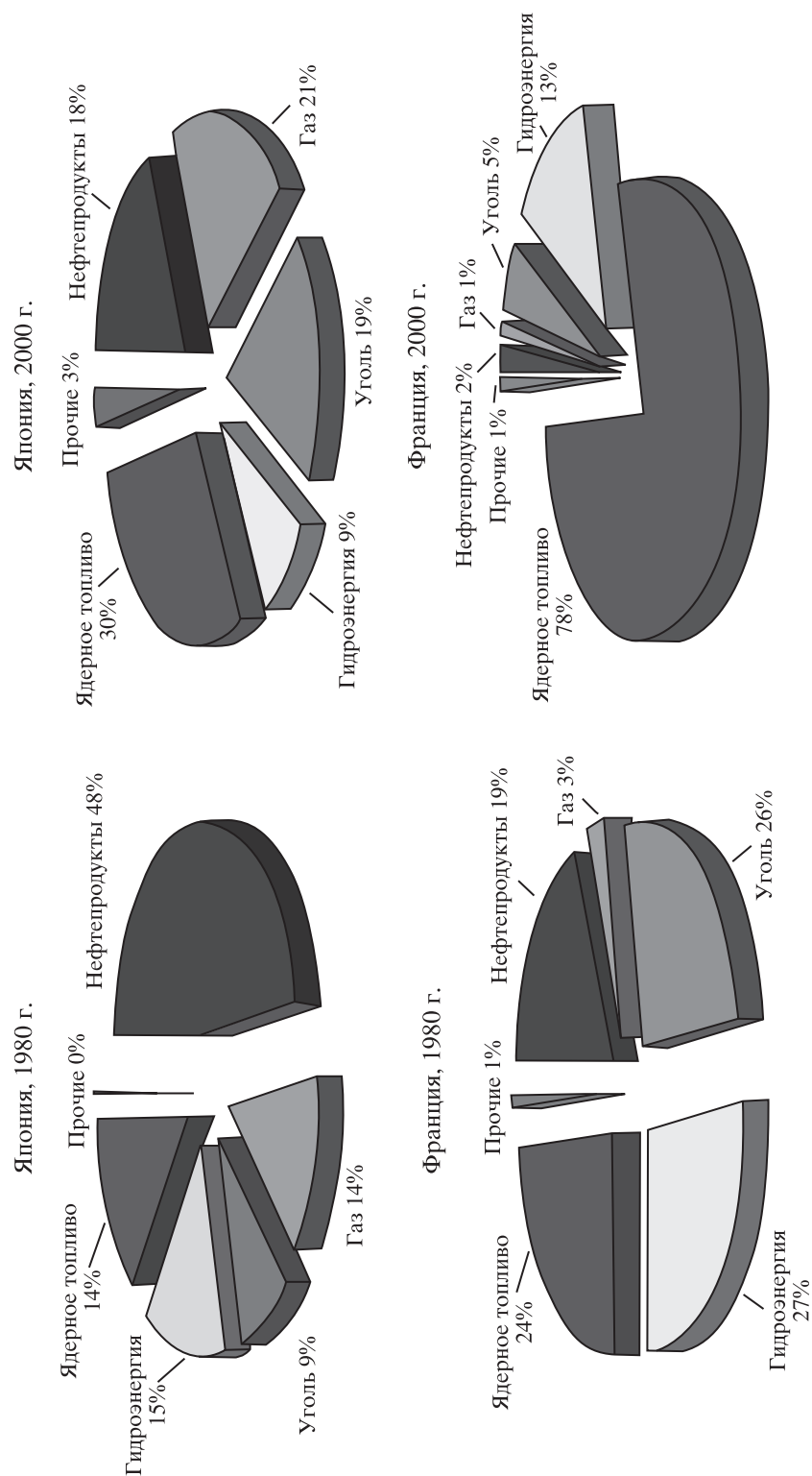


Рис. 11. Структура использования энергетических ресурсов в Японии и во Франции

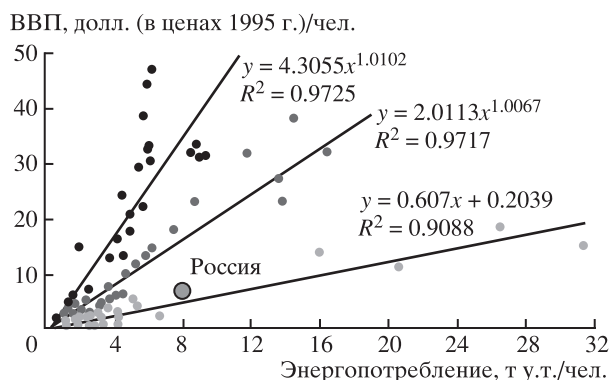


Рис. 12. Связь ВВП с энергопотреблением по 120 странам в 2001 г.

к настоящему времени изменилась в худшую сторону. В то же время добыча постоянно растёт за счёт месторождений, благоприятных для освоения [2]. Сегодня из группы запасов, благоприятных для разработки и составляющих немногим более 30%, добывается почти

60% нефти. В то же время из остальных 70% запасов, представленных высоковязкими нефтями (13.8%), подгазовыми залежами (15.7%) и локализованных в плохопроницаемых коллекторах (38.6%), добывается лишь около 40%. Выборочная интенсификация добычи нефти сопровождается выводом из эксплуатации низкодебитных скважин. В настоящее время их более 20 тыс. У отдельных компаний они составляют 10% от общего фонда скважин, а у компаний, достигших максимального прироста добычи, их число доходит до 50%.

Значительные потери ресурсов связаны с низкой глубиной переработки нефти. На большинстве российских нефтеперерабатывающих заводов она не превышает 70%, в то время как в большинстве развитых стран достигает 85–90%. Структура и низкое качество российских нефтепродуктов приводит к тому, что они экспортируются в Европу как вторичное сырьё, со значительным ценовым дисконтом. По последним оценкам, при экспорте дизельного топлива компании теряют до 2 млрд долл. в год [3].

Мы продолжаем неоправданно поддерживать сложившуюся расточительную структуру использования энергетических ресурсов, где половина их приходится на природный газ. Крайне недостаточными остаются темпы увеличения потребления углей и развития атомной энергетики. В этом смысле весьма показательна ресурсосберегающая динамика изменения баланса используемых источников энергии Японией и Францией (рис. 11). Япония с 1980 по 2000 г. уменьшила долю потребления углеводородов с 60% до 40%, вдвое увеличив долю потребления углей и ядерного топлива.

В энергетическом балансе Франции суммарная доля углеводородов и каменных углей в настоящее время составляет 8%. На ядерное топливо приходится 78% и 13% – на гидроэнергию. Франция является единственной страной, успешно решившей экологическую проблему в энергетике, и сделавшей значительный шаг в её ресурсообеспечении.

Проблема инноваций в экономике энергетических ресурсов. Важнейшим показателем, отражающим инновационные процессы в экономике и характеризующим уровень и качество жизни в различных странах, является ВВП на душу населения. В конце 60-х – начале 70-х годов Д. Мидоузом и П.Л. Капицей была продемонстрирована сильная корреляционная зависимость между ВВП и потреблением первичной энергии. Коэффициент детер-

Рис. 13. Соотношение роста мировой экономики и потребления энергии

1 – потребление энергии; 2 – валовый внутренний продукт; 3 – соотношение темпов годового прироста эластичности энергопотребления к ВВП

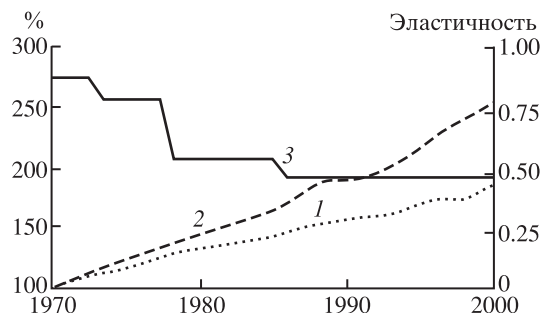
минации ВВП на душу населения (рассчитанный на основе валютных курсов) и энергопотребления для 77 стран мира в 1968 г. пре-
высил 0.831 [4].

За последние 25 лет высокоразвитые страны достигли серьёзных успехов в решении проблем эффективного использования энергетических ресурсов. На рисунке 12 показана связь ВВП с энергопотреблением в 120 странах мира. В 2001 г., в отличие от 1968 г., по этому показателю уже отчётливо выделяется три группы стран. *Первый* тренд относится к странам, отличающимся высокой эффективностью использования энергии, *третий* – к группе стран с низкой эффективностью, и *второй* – занимающим промежуточное положение [5].

Академиком В.Е. Фортовым и членом-корреспондентом А.А. Макаровым при анализе динамики соотношений роста мировой экономики и потребления энергии был предложен дополнительный показатель, названный “эластичность энергопотребления к ВВП” [6]. На рисунке 13 видно, что при более высоком темпе роста ВВП по отношению к темпу потребления энергии, соотношение их годового прироста не является линейным (ступенчатая линия на диаграмме). В начале и в конце 70-х годов, а также в середине 80-х это соотношение заметно уменьшалось. В целом отмеченная особенность динамики этого показателя отражает снижение энергоёмкости ВВП в мире за счёт освоения новых энергосберегающих технологий, рационализации энергопотребления, совершенствования управления и других причин, в том числе и за счёт серьёзных структурных изменений в экономике.

Динамика удельного энергопотребления и ВВП в мире за последние 30 лет XX в., вычисленная на основе анализа выборки стран, представляющих каждую из выделенных на рисунке 12 групп, показана на рисунке 14 [7]. Здесь хорошо видно, что к 2000 г. в левой верхней части диаграммы оказались высокоразвитые страны с большим объёмом производства наукоёмкой продукции и низким удельным энергопотреблением. При энергопотреблении 5–6 т у.т. на душу населения они отличаются высоким уровнем ВВП, превышающим 30 тыс. долл. на душу населения. В этой группе – Швейцария, Дания, Япония, Франция и Германия. В Бельгии, Нидерландах и таких северных странах, как Швеция, Финляндия, при том же уровне удельного ВВП энергопотребление составляет 8–9 т у.т. на душу населения; в США – почти 12, а в Норвегии – 14 т у.т.

Более детально на рисунке 14 отображена весьма сложная и необычная динамика развития экономики СССР и России. До 1985 г. её тренд не отличался от мирового. Снижение эффективности энергопотребления совпадает с началом перестройки. Реформы 90-х годов привели к резкому сокращению



производства, и к 2000 г. удельный ВВП упал до уровня 5 тыс. долл. Тренд развития нашей экономики перешёл на третий, нижний, уровень, где находятся Венесуэла и Мексика. За последние пять лет удельное энергопотребление в нашей стране возросло до 8.0 т у.т., а удельный ВВП превысил 7 тыс. долл.

Возможное направление повышения эффективности энергопотребления, связанное с планами развития экономики России на период до 2020 г., показано более яркой линией. По оптимистическому сценарию, к концу этого периода, вероятнее, к 2025 г., при удельном потреблении энергоресурсов, равном 10 т у.т., мы сможем превысить уровень ВВП до 25 тыс. долл. на душу населения и приблизимся по этому показателю к сегодняшнему уровню высокоразвитых стран. Реализация этой тенденции возможна лишь при условии успешного решения проблемы инвестиций. По расчётам моих коллег – экономистов РАН и по данным Международного энергетического агентства [8], на эти цели потребуется 935–950 млрд долл., из них на развитие нефтяной промышленности – 40%, газовой – 32%, электроэнергетики – 27%; на геологоразведочные работы – около 60 млрд долл., на развитие фундаментальных научных исследований [9] и решение научно-технических задач – не менее 15 млрд долл. (в их современном паритете).

В заключение хотел бы отметить важнейшие научно-технические проблемы, от успешного решения которых также зависит развитие ТЭКа:

- научное обоснование направлений геологоразведочных работ;
- промышленная разработка и применение новых технологий при поисках, разведке и разработке месторождений;
- разработка математических моделей управления процессами бурения скважин и извлечения нефти с использованием химических, физических, тепловых и иных методов воздействия на пласт;
- создание и применение новых материалов и технических средств для трубопроводного транспорта, геофизических исследований и бурения скважин в шельфовых зонах арктических морей;
- коренная модернизация нефтеперерабатывающих заводов на основе новых катализаторов и других фундаментальных достижений химической науки;
- создание и освоение технологий сжижения природного газа и получения синтетического жидкого топлива для успешного освоения отдельных крупных месторождений природного газа, удалённых от магистральных газопроводов;
- радикальное улучшение управления недропользованием со стороны государства.

Выражаю сердечную благодарность моим коллегам, товарищам по работе, принимавшим активное участие в обсуждении затронутых вопросов, предоставлении отдельных материалов и подготовку доклада: академикам А.Н. Дмитриевскому и А.Э. Конторовичу; членам-корреспондентам РАН М.Д. Белонину, В.И. Величкину, А.Д. Рубану; докторам экономических наук А.С. Некрасову, Ю.В. Синяку, кандидату экономических наук А.Г. Коржубаеву, кандидатам физико-математических наук И.А. Чижовой и С.М. Шаповалову и кандидату технических наук К.И. Якубсону.

Литература

1. Боксерман А.А. Востребованность современных методов увеличения нефтеотдачи – обязательное условие преодоления падения нефтеотдачи в стране // Нефтяное хозяйство. 2004. № 10.
2. Белонин М.Д., Якуцени В.П. Проблемы сырьевого обеспечения ТЭК России // Сырьевая база углеводородного сырья и его прогноз. Нетрадиционные источники углеводородного сырья. СПб.: Недра, 2004.
3. Нефтепереработка в России: проблемы и перспективы развития. М.: Аналитический центр “Эксперт”, 2005.
4. Конторович А.Э., Добрецов Н.Л., Лавёров Н.П., Коржубаев А.Г., Лившиц В.Р. Энергетическая стратегия России в XXI веке // Вестник Российской академии наук. 1999. № 9.
5. Коржубаев А.Г. Закономерности глобального энергообеспечения и нефтегазовая политика России // ЭКО. 2005. № 10.
6. Фортков В.Е., Макаров А.А. Приоритеты энергетической стратегии России // Перспективы энергетики. 2003. № 2.
7. Конторович А.Э., Коржубаев А.Г. Энергия рождает энергию. Энергетика в устойчивом развитии мирового сообщества // ЭКО. 2002. № 8.
8. Некрасов А.С., Синяк Ю.В. Макрорегиональный прогноз долгосрочного развития энергетического комплекса России // Пространственная экономика. 2005. № 1.
9. Лавёров Н.П., Дмитриевский А.Н., Якубсон К.И. Роль фундаментальной науки в создании новых нефтегазовых технологий // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. Вып. 2. М.: Геос, 2002.

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ РОССИИ

Академик А.Ю. Румянцев

Атомная энергетика действительно привлекает к себе внимание подчас потому, что подвергается большой критике. Но она же сулит заманчивые перспективы в мировом энергообеспечении, а также вносит уже заметный вклад в энергообеспечение различных стран. Достаточно назвать, например, Францию, где 80% электроэнергии вырабатывается на атомных станциях. В своём сообщении я остановлюсь в основном на электроэнергетике, поскольку именно в ней атомная энергетика играет роль, существенную для экономики нашего государства.

Атомная энергетика Российской Федерации – 10 действующих атомных энергетических станций (АЭС) – сосредоточена в европейской части страны (табл.). Исключение составляют Белоярская АЭС на границе Европа–Азия (г. Заречный, Свердловская область) и Билибинская на Чукотке. На АЭС работает 31 реакторный блок. Используется пять типов реакторов. Один из них – уран-графитовый реактор РБМК-1000 (реактор большой мощности канальный с электрической мощностью 1000 МВт, или 1 ГВт), более известный как реактор чернобыльского типа. Таких реакторов 11. Работает 9 реакторов корпусного типа с водой под давлением ВВЭР-1000 (водо-водяной энергетический реактор с электрической мощностью 1000 МВт, или тот же 1 ГВт). Более ранний тип таких реакторов – ВВЭР-440 (электрическая мощность 440 МВт, соответственно – 0.44 ГВт). Их насчитывается 6. Один

Параметры атомных электростанций России

АЭС	Тип реакторов	Количество реакторов	Электрическая мощность АЭС, ГВт
Кольская	ВВЭР-440	4	1.76
Ленинградская	РБМК-1000	4	4
Калининская	ВВЭР-1000	3	3
Смоленская	РБМК-1000	3	3
Курская	РБМК-1000	4	4
Нововоронежская	ВВЭР-440	2	1.88
	ВВЭР-1000	1	
	ААЭР-1000	4	
Балаковская	ВВЭР-1000	1	1
Волгодонская	БН-600	1	0.6
Белоярская	ЭГП	4	0.048
Билибинская			

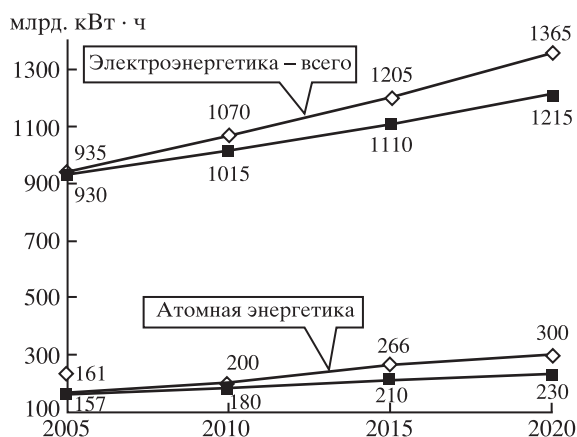
реактор – на быстрых нейтронах (БН-600) с жидкометаллическим теплоносителем (расплавленный натрий) и электрической мощностью 600 МВт (0.6 ГВт). Кроме того, на Билибинской АЭС используются 4 реактора с очень маленькой, по современным понятиям, электрической мощностью – всего лишь 12 МВт каждый. Их обозначение – ЭГП (энергетический, графитовый, петлевой).

Таким образом, установленная электрическая мощность атомно-энергетического комплекса России составляет около 23.3 ГВт, что соответствует примерно 11% от всей генерируемой в стране электрической мощности. Атомные станции производят около 16.5% электроэнергии, вырабатываемой в России. Эти величины хорошо согласуются с мировыми показателями: доля АЭС в установленной мощности – 10%, а в производстве электроэнергии – 17%.

В общепринятой схеме обеспечения электричеством чуть менее половины вырабатываемой в России электроэнергии сконцентрировано на Федеральном оптовом рынке энергетических мощностей (ФОРЭМ). Атомная энергетика производит примерно половину электроэнергии, которая распределяется на этом рынке среди потребителей. Тариф на электроэнергию атомного комплекса выше, чем тариф гидрогенерации, и ниже тарифа обычных тепловых станций. В 2005 г. тариф на электроэнергию АЭС составил 50 коп., ГЭС – 19 коп., ТЭС – 65 коп. за 1 кВт · ч.

ФОРЭМ регулируется государством (тарифы на электроэнергию, цены на ядерное топливо и пр.), однако в соответствии с реформированием электроэнергетики в Российской Федерации регулируемый рынок в ближайшие годы будет заменён на конкурентный. Процесс замены уже начался. Итак, атомная энергетика в России вырабатывает 16.5% потребляемой электроэнергии. В европейской части страны этот показатель приближается к 25%, а на ФОРЭМе доля атомной энергетики примерно 50%.

Вполне естественно, что функционирование и развитие атомной энергетики определяется государственными концепциями и регламентируется нормативными документами Правительства РФ. Это, во-первых, инициатива



Параметры электроэнергетики нашей страны, предусмотренные в Энергетической стратегии России на период до 2020 г.

Приведены два варианта развития – умеренный (квадраты) и оптимистический (ромбы)

Президента Российской Федерации В.В. Путина, который на “саммите тысячелетия” призвал к широкомасштабному развитию мировой атомной энергетики без использования оружейных технологий и оружейных материалов. Во-вто-

рых, Энергетическая стратегия России на период до 2020 г., принятая Правительством РФ в 2003 г., – основной государственный документ, устанавливающий, как будут развиваться атомно-энергетические мощности и выработка электроэнергии. В-третьих, стратегия развития атомной энергетики в первой половине XXI в. – отраслевой прогнозный план, рекомендательный документ, который также обсуждался в Правительстве РФ пять лет назад и был одобрен.

Согласно Энергетической стратегии России, увеличение потребности в электроэнергии целесообразно покрывать за счёт роста её выработки на АЭС в основном в европейской части страны. Это – первое задание. Второе – следует переходить к производству тепловой энергии. Хотя существуют законченные проекты специализированных атомных тепловых станций, тем не менее они не были реализованы, и тепло вырабатывается лишь на тех станциях, где вырабатывается электричество. Третье задание – повышение эффективности и конкурентоспособности АЭС, то есть увеличение коэффициента использования установленной мощности до уровня 80% и более, что также должно существенно повысить выработку электроэнергии. И четвёртое – атомная энергетика должна работать в базовом режиме, другими словами, она не должна регулироваться. Но атомная энергетика и создавалась как работающая в базовом режиме, что означает выход на установленную мощность и стабильную выработку электроэнергии. Тем не менее некоторые элементы маневрирования ей всё-таки присущи. Однако они используются в мире в очень малых масштабах. Манёвр же осуществляется за счёт тепловых или гидроаккумулирующих станций.

На рисунке показано, какие задачи поставлены перед энергетикой в целом и атомной энергетикой (в объёмных показателях) Энергетической стратегией России. В стратегии предусмотрены два варианта – умеренный и оптимистический. Для атомной энергетики, которая сегодня вырабатывает около 150 млрд кВт · ч в год, это означает, что к концу периода должно быть выработано 230 млрд кВт · ч по умеренному сценарию и около 300 млрд – по оптимистическому. Рассмотрим умеренный вариант. Для его реализации следует в период 2008–2020 гг. построить и ввести в эксплуатацию 11 ГВт (!) новых мощностей. Между тем с 2017 по 2020 г. предстоит вывести из

эксплуатации 2.8 ГВт в связи с истечением срока службы реакторных блоков. Задача эта, не хочу сказать невыполнимая, но чрезвычайно трудновыполнимая, если проецировать всю концепцию развития атомной энергетики от нынешней ситуации. Для сравнения лишь замечу, что с 1992 по 2004 г. в России создано 3 ГВт новых мощностей (три блока ВВЭР-1000), при этом два блока были построены на 90% ещё в советский период.

Однако сейчас экономическая ситуация в отечественной атомной энергетике существенно изменилась в лучшую сторону, что позволяет с оптимизмом оценивать возможность реализации умеренного варианта Энергетической стратегии. Действительно, оценки показывают, что потребности в инвестициях составляют 28 млрд долл., в том числе для новых генерирующих мощностей – 21.5 млрд. Остальные средства необходимы для модернизации и продления ресурса существующих реакторных блоков. Структура тарифа на “атомную” электроэнергию такова, что к 2020 г. в условиях регулируемого рынка на инвестиции из тарифа может быть аккумулировано около 14 млрд, а при конкурентном рынке – 21 млрд долл. Это означает, что недостающие 7–9 млрд долл. следует привлекать в рамках различных экономических схем, возможно, частично и из Федерального бюджета. Опыт форсированного сооружения третьего блока Калининской АЭС с 2001 по 2004 г. (с 35%-ного уровня готовности), а также строительство первого блока Тяньваньской АЭС в Китае (физический пуск блока состоялся в октябре 2005 г.) показывают, что промышленный потенциал России при наличии инвестиций достаточен для выполнения умеренного варианта Энергетической стратегии в части создания генерирующих мощностей в атомной энергетике. Однако повторю: сделать это в комплексе будет чрезвычайно трудно.

В мире сейчас наблюдается активизация в развитии атомной энергетики. Если говорить о масштабности национальных проектов, то лидерами являются Индия и Китай. В ближайшие несколько лет мы станем свидетелями того, что в каждой из этих стран будет одновременно сооружаться более 10 энергетических блоков. Вся мировая атомная энергетика насчитывает около 450 действующих блоков. Поэтому уже сейчас постановка вопроса о ресурсном обеспечении атомной энергетики крайне актуальна.

В XXI столетии мировая атомная энергетика, судя по различным оценкам, в целом обеспечена природным ураном, однако региональные проблемы существуют. В своём докладе академик Н.П. Лавёров абсолютно верно обратил наше внимание на существующий дефицит в обеспеченности ураном в российском ядерном комплексе. Действительно, атомная энергетика в СССР и её развитие опирались на богатые и хорошо обустроенные месторождения в Казахстане, Узбекистане, частично на Украине и в странах Восточной Европы. Сейчас все эти месторождения находятся вне России, некоторые из них разрабатываются международными корпорациями, а в Восточной Европе добыча урана практически прекращена. В связи с этим уже несколько лет в России проводятся мероприятия по модернизации существующих месторождений урана и активизации геологоразведочных работ. Обсуждаются планы обустройства новых месторождений к 2015 г.

Однако радикальным решением сырьевого обеспечения и создания крупномасштабной *атомной* энергетики в России, эффективной до конца XXI в. и на более далёкую перспективу, является переход к энергетическим реакто-

рам на быстрых *нейтронах* (аналогам надёжно эксплуатируемого более 25 лет реактора БН-600) с замыканием топливного цикла. Реакторы на быстрых нейтронах способны воспроизводить топливо (коэффициент воспроизводства начального количества энергетического плутония больше единицы). При этом уран-238 трансформируется в плутоний-239. Природный уран имеет следующий изотопный состав: уран-235 – 0.7% (именно он является рабочим веществом в современной ядерной энергетике на тепловых нейтронах) и уран-238 – 99.3%. Это означает, что огромные запасы урана-238, накопившиеся за 50 лет использования атомной энергетике, будут вовлечены в энергетический оборот. Источник для производства делящегося материала – плутония-239 – поистине неисчерпаем! Важнейшим инновационным проектом перехода к новой атомной энергетике станет сооружаемый ныне на Белоярской АЭС реактор на быстрых нейтронах БН-800 (электрическая мощность 800 МВт). Именно на нём будут отработаны все режимы и опробованы решения, необходимые для развития крупномасштабной атомной энергетике, возможно, и в мировом масштабе.

План действий, которым руководствуется атомная отрасль и энергетическое сообщество, в общих чертах выглядит следующим образом. В ближайшие несколько лет следует создать и реализовать типовой проект реактора ВВЭР-1000, который стал бы унифицированным для замещения всех выбывающих после 2015 г. мощностей. Такая работа начата и включена в концепцию, которую Росатом уже внёс в Правительство РФ. За это время необходимо определиться с судьбой водо-водяных реакторов мощностью 1.5 тыс. МВт. Такого проекта в России пока нет. Если по бизнес-плану и по балансу будет получаться так, что без него не реализуются установленные мощности генерации, то проект нужно форсированно завершать, используя все существующие сегодня инновационные решения. Если же потребление энергии будет удовлетворяться за счёт традиционных методов и атомных реакторов мощностью 1000 МВт, то следует, не теряя времени, развивать сразу же реакторы большой мощности на быстрых нейтронах. Стартовав с БН-800, дальше переходить на БН-1200, а то и БН-1800 (мощность 1800 МВт). Это совершенно новый этап в развитии атомной энергетике, реализация которого планируется в конце XXI в., когда, я надеюсь, термоядерная энергетика начнёт “подхватывать” в энергобалансе выбывающие мощности.

Должен обязательно упомянуть о проблеме обращения с отработавшим топливом, в особенности о его радиохимической переработке. Это направление атомной энергетике всегда сильно критикуется, но вы знаете, что проблема решается. Решается в самом современном технологическом варианте опять же во Франции: на мысе Ла-Агг в Нормандии примерно на 200 га располагается некое производство, которое для окружающей среды будет экологически чистым. Производство предусматривает переработку нескольких тысяч тонн облучённого топлива в год с последующим вовлечением регенерированного урана и энергетического плутония в топливный цикл, а также утилизацию высокоактивных отходов с их долговременным хранением. Отечественный радиохимический завод РТ-1 удовлетворяет основным нормативным требованиям, тем не менее сейчас Росатом с Российской академией наук прорабатывает планы дальнейшей модернизации радиохимиче-

ских производств с учётом французского опыта, а также создания в России производства для замыкания ядерного топливного цикла.

Какие инновационные проекты можно было бы ещё рассматривать при развитии атомной энергетики? Как это ни парадоксально звучит, но наиболее перспективны реакторы небольшой мощности. За 50 лет использования атомной энергетики стало ясно, что реакторы малой мощности (около 300 МВт) очень удобны и полезны. Такие реакторы могут быть построены не только в Европейской части, но и в отдалённых районах Сибири и даже Дальнего Востока. Это тоже стратегический вариант, и такой инновационный проект реализуется в Росэнергоатоме.

Что касается реакторов совсем малой мощности (50–70 МВт), то существует рабочий проект плавучей АЭС, и, думаю, в недалёком будущем его реализуют в Северодвинске. В дальнейшем предполагается тиражировать такие блоки и доставлять в труднодоступные и энергодефицитные регионы, а может быть, и экспортировать их.

Итак, атомная энергетика России располагает:

- технологической устойчивостью и конкурентоспособностью;
- необходимым уровнем гарантированной безопасности;
- современными и перспективными проектами реакторных установок;
- научно-технологическим и энергомашиностроительным потенциалом;
- опытом создания и эксплуатации АЭС не только в России, но и за рубежом;
- топливной базой на долгосрочную перспективу.

Атомная энергетика позволяет повысить уровень энергетической безопасности России, поскольку сберегает органическое сырьё и стабилизирует электроэнергетику в целом, а также уменьшить выбросы парниковых газов и увеличить экономическую эффективность топливно-энергетического комплекса России. Стратегическое направление развития атомной энергетики России – это замкнутый ядерный топливный цикл с реакторами на быстрых нейтронах и технологической поддержкой режима нераспространения ядерных материалов.

ВЫСТУПЛЕНИЯ УЧАСТНИКОВ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ

*Председатель правления РАО «ЕЭС России»
А.Б. Чубайс*

Я с исключительным интересом выслушал то, что прозвучало с этой высокой трибуны, получил бесценную информацию. Естественно, конечно, в своём кратком выступлении не могу претендовать на тот уровень фундаментальности, который был задан в докладах. Остановлюсь на том, что для нас, производителей, является кричащим, сверхострым, и сразу же скажу, что увидел абсолютное созвучие, резонанс между тем, что заботит нас в

ежедневной практической работе, и тем, что прозвучало сегодня в выступлениях.

Несколько слов о компании, которую я представляю. РАО “ЕЭС” сегодня – это 70% производства электроэнергии в стране (более 2/3), 32% производства тепла. Мы работаем практически полностью на российском рынке – у нас есть лишь минимальный объём экспорта. И в этом смысле наше место на российском рынке уникально, и значение компании для решения любых серьёзных стратегических вопросов, безусловно, принципиально.

Здесь уже упоминался фундаментальный документ, который был призван определить стратегические вопросы развития энергетики страны – Энергетическая стратегия России. Мы работаем в его рамках. Но именно поэтому мне хотелось бы сказать о той острейшей проблеме, которая, к сожалению, возникает в связи с этим документом.

Дело в том, в Энергетической стратегии и в приложениях к ней легко обнаружить параметр прироста электропотребления за период с 2000 до 2005 года, который равен 46–50 млрд кВт · ч. Поскольку 2005 год уже завершается, мы ясно понимаем, что прирост реально составит 73 млрд кВт · ч.

Я думаю, что в данной профессиональной аудитории эти две цифры должны быть восприняты как очень значимые и крайне тревожные. Тревожные в том смысле, что, по сути дела, динамика электропотребления – базовый параметр развития электроэнергетики страны, зафиксированный в прогнозном документе, превышен почти на 50%.

Напомню, что стратегия принята совсем недавно – в 2003 году. За два года уже понятно, что реальная ситуация развивается по сценарию, отличному от того, что заложен в энергостратегии.

Мы прекрасно понимаем, что за этим стоят позитивные процессы в экономике страны, рост валового внутреннего продукта. Но вместе с тем такая стратегическая отрасль, как энергетика, должна немедленно, получив сигнал, выработать и внести существенные и масштабные коррективы в стратегию собственного развития.

Динамика электропотребления по целому ряду регионов России оказывается, скажем, в Белгородской области в 1.8 раза выше, чем средняя по стране, в Дагестане – в 3 раза, в Ленинградской области – в 3.2, в Тюменской области – в 4.8 раза выше.

Повторю ещё раз – темп прироста электропотребления в этих регионах по сравнению со средним общероссийским, заложенным в энергостратегию, оказывается выше не на проценты, а в разы.

Понятно, что речь идёт о наиболее динамично развивающихся регионах страны, как Тюменская или Белгородская области. Дагестан – уникальный регион, где доля энергопотребления населения составляет 60–70%.

Общероссийская динамика, безусловно, важна, но ещё более важно то, что происходит в регионах. Я убеждён, что анализ нужно проводить именно в региональном разрезе прежде всего. Потому что даже при развитой системе электрических связей, уникальной системе, которая есть в нашей стране, тем не менее понятно, что дальневосточной энергией запитать ни Европу, ни Урал, ни даже Сибирь в ближайшие годы не удастся.

Я приведу разрабатываемые в РАО “ЕЭС” балансы электрической мощности по укрупнённым регионам России. (Мы делаем такую работу в регулярном режиме на пять лет.)

И эти балансы показывают нам следующую ситуацию.

Дальний Восток – пока ещё существенный избыток и практически единственный регион с избытком энергетической мощности.

Объединённая энергосистема Сибири (ОЭС Сибири), традиционно считающаяся избыточной с колоссальными мощностями гидроэнергетики Ангары и Сельского каскада, с угольными мощностями Канско-Ачинского бассейна. Однако Сибирь уже в 2008 г. окажется с нулевым балансом, а с 2009 г. окажется дефицитным регионом.

ОЭС Средней Волги – второй избыточный регион, который является ключевым для обеспечения сальдоперетоков в европейскую часть страны и на Урал. Урал при этом уже в 2006 г., по нашим оценкам, реально окажется энергодефицитным регионом. Если быть более точным: в 2006 г. – нулевой баланс, начиная с 2007 г. – реальный дефицит электроэнергии на Урале.

ОЭС Центра: 2008 г. – нулевой баланс.

ОЭС Северо-Запада: 2009 г. – нулевой баланс.

Кавказ фактически уже находится в дефиците и держится за счёт Центрального региона.

Картина, мне кажется, говорит сама за себя, и она требует перевода приоритета энергетики на абсолютно иной уровень по отношению к тому, который сегодня в целом наблюдается.

Особенно жёстко эта ситуация может быть воспринята, когда к проблеме количественных параметров существующих мощностей добавится проблема качественного состояния, уровня износа и сроков использования оборудования.

Я не думаю, что сообщу новое в этой аудитории, тем не менее буквально два-три параметра, для того чтобы обозначить остроту проблемы, хотел бы привести.

В 2000 г. 12% оборудования от установленной мощности работало за пределами паркового ресурса, в 2005 г. – это уже 25% и самое главное – даже не уровень, а вектор, куда, собственно, направлена динамика.

Фактически осуществляемый объём модернизации оборудования, замена основных фондов, инвестиций, ремонта, в том числе капитального, который осуществляется, – весь объём, вместе взятый, в рамках существующих тарифов не позволяет не то что остановить, но даже замедлить тенденцию старения основных фондов и соответственно динамику выбытия за пределы паркового ресурса.

В этом смысле, как мне думается, ситуация в энергетике более остра, чем в большинстве других отраслей промышленности.

Я, готовясь к сегодняшнему разговору, заглянул в госкомстатовские справочники и посмотрел межотраслевые сравнения по износу основных фондов. Фактически, скажем, в пищевой промышленности за период с 1990 до 2003 г. уровень износа основных фондов сократился, в цветной металлургии – несколько сократился; он несколько сократился в чёрной металлургии, в химической и нефтехимической промышленности. Уровень износа

существенно вырос в машиностроении и металлообработке и, я бы сказал, катастрофически вырос в энергетике страны.

Это означает, что и в этом смысле наша отрасль находится в наиболее опасном состоянии, если видеть глобальные тенденции, глобальные тренды нескольких десятилетий.

Базовые причины этой картины очевидны. Состояние основных фондов – это функция тарифной политики, причём функция абсолютно жёсткая. Начиная с 2004 г., мы вошли в период, когда средние отпускные тарифы на электроэнергию у нашей компании растут медленнее, чем инфляция. Мы прожили таким образом 2004 г., фактически уже прожили таким образом 2005 г.: 111.5% – инфляция, 109.2% – тарифы. Очевидно, что так же мы проживём и 2006 г., на 2006 г. плановые параметры инфляции – 8.5–9.5%, наши тарифы – 7.5%.

Мне уже приходилось говорить о том, что с точки зрения текущего управления, удержания текущей ситуации, менеджмент компании выстроен так, что он способен продолжать функционировать в этой тарифной политике. Но точно так же очевидно, что такая политика приведёт энергетику страны к абсолютной катастрофе, если она не будет изменена. Что же делать?

Если совсем коротко – нужен полный пересмотр государственной энергетической политики. Мы считаем, что предпосылками этого пересмотра являются и исчерпание резервов мощности, о чём я говорил, и предельный износ оборудования, исчерпание паркового ресурса. Позитивные предпосылки для пересмотра энергетической политики создаёт завершаемая нами реформа энергетики, которая, собственно, вся с самого начала и была нацелена на создание привлекательности для инвестиций.

Новая энергетическая политика – это фундаментальное явление, которое не исчерпывается только самой электроэнергетикой. Хотя, прежде всего, по-видимому, начать нам нужно с себя, и первое, что следует сделать, – это, собственно, техническая политика в электроэнергетике. Весной этого года мы впервые утвердили такую концепцию технической политики, заложив наше видение наиболее значимых параметров и наиболее важных технологических процессов, которые мы считаем правильными, для каждого из видов оборудования, используемых нами.

Помимо технической политики в электроэнергетике, как нам представляется, необходима стратегия развития российского энергомашиностроения, потому что именно в энергомашиностроении накоплен, как хорошо известно присутствующим, колоссальный потенциал. Это второй крупнейший блок в новой энергетической политике.

Третий блок – программа развития и размещения электроэнергетики до 2020 г. Мы считаем, что сейчас назрела острейшая необходимость в выработке документа, который даст ответ на вопрос: где конкретно, в каких именно регионах страны должны быть размещены и какие мощности, как следует выстроить инвестиции в сетевом строительстве с тем, чтобы обеспечить схему выдачи мощностей, которые появятся в стране в этот период; как следует выстроить всю систему противоаварийной автоматики, защиты и управления режимами, которые обеспечат функционирование единой энергосистемы с теми параметрами, которые будут заложены до 2020 г.? Мы разворачиваем сейчас разработку такого документа.

Не менее значима корректировка тарифной политики. Я уже сказал об этом, не хотел бы сейчас уходить в детали.

Считаем важными и немедленные меры по стимулированию инвестиций в энергетику. Н.П. Лавёров закончил свой доклад на слове, которое, мне кажется, является ключевым, – “инвестиции”. Это сердцевина, самое главное и, собственно говоря, суть всей новой энергетической политики, о которой мы говорим, и сводится к тому, что стране остро необходима немедленная и долгосрочная активизация инвестиций в энергетику страны.

И самое последнее, о чём хотелось бы сказать, – это наше понимание того, что задача такого масштаба сложности, задача такого класса, в принципе, не может быть решена только силами производственной компании, только силами РАО ЕЭС. Я глубоко убеждён в том, что тот прорыв, который остро назрел и который абсолютно необходим, может быть совершён лишь на фундаменте нового качества взаимодействия с фундаментальной наукой. Вот на этом фундаменте, возможно, традиционном, классическом, на фундаменте соединения науки с производством, как это называлось в прежние времена, как нам представляется, можно и нужно выстраивать новую энергетическую политику в стране.

Член-корреспондент РАН Н.И. Воронай

В докладах охарактеризовано состояние энергетики России и прогнозы её развития. Мне бы хотелось акцентировать внимание на двух дополнительных аспектах, которые, на мой взгляд, надо учитывать. Они связаны с тем, что как экономика, так и энергетика России развиваются и функционируют не изолированно, а в сильно взаимосвязанном мире, что сейчас называют словом “глобализация”.

Если проанализировать ситуацию с позиции глобализации экономики и энергетики мира, то можно сделать ряд выводов, касающихся энергетики России. Первый, казалось бы, очевидный вывод: необходим уход от сырьевой ориентации России на международных энергетических рынках. Это понятно, и дополнительных комментариев, мне кажется, не требует.

Академик В.Е. Фортов показал доминирующую роль газа в топливно-энергетическом балансе России. Ситуация также ненормальная, стратегия должна быть направлена на постепенное сокращение доли газа.

Следующее положение: Сибирь и Дальний Восток – это стратегический резерв выживаемости России в XXI веке, поэтому необходимо существенное развитие восточной ориентации, или, как сейчас говорят, восточного вектора энергетической политики России.

Второй аспект – взгляд на прогнозы развития энергетики с точки зрения устойчивого развития. Мы подписали Киотский протокол, и должны будем его выполнять. В частности, оценки показывают, что наших запасов для выполнения требований Киотского протокола хватит примерно до 30-го года, плюс-минус несколько лет. Дальше необходимо предпринимать дополнительные усилия для сокращения выбросов. А по сути, учитывая инерционность развития энергетики, этим надо начинать заниматься уже сейчас.

Основные мероприятия с позиции устойчивого развития: изменение структуры топливно-энергетического баланса в сторону повышения доли квалифицированных видов топливно-энергетических ресурсов, то есть опять же отход от сырьевой ориентации нашего экспорта; повышение технологического уровня энергетики.

Следующая позиция – повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и энергосбережение. Здесь мы также далеко позади от развитых стран. Необходимо предпринимать соответствующие усилия.

И, наконец, повышение доли возобновляемых энергоресурсов. С позиций глобализации и устойчивого развития видно, что доля возобновляемых энергоресурсов остается незначительной в прогнозах, в частности, в энергетической стратегии России. В выработке электроэнергии эта доля не превышает 2%, в общем потреблении топливно-энергетических ресурсов – чуть менее 4%. Повышение доли нетрадиционных возобновляемых энергоресурсов требует целого комплекса специальных государственных мер, законодательных, экономических стимулов, которые действовали бы в этом направлении.

Необходимы корректировки объёмов добычи и экспорта газа. Почему? Первая причина – проблемы освоения новых месторождений. Чем дальше мы уходим на северные месторождения, тем дороже получается добыча газа, и себестоимость уже может оказаться выше рыночных цен на газ в Европе и в европейской части России. Перспектива вполне реальна, если не предпринять необходимых усилий.

Нужно увеличивать долю малых газотурбинных установок в электроэнергетике. Здесь определённое продвижение имеется. Уже несколько лет действует программа Газпрома по газификации регионов, и на днях она была объявлена одним из национальных приоритетов. При соответствующем стимулировании региональных органов доля малых ГТУ ТЭЦ вместо очень неэффективных котельных может быть вполне доведена до 10–15% установленной мощности. КПД этих установок 60% и более, в результате мы получим существенную экономию топливно-энергетических ресурсов.

Существуют достаточно высокие риски в реализации прогнозов энергосбережения. В Энергетической стратегии России записаны соответствующие ориентиры, в том числе в области энергосбережения, однако без соответствующей государственной политики они так и останутся на бумаге.

Таким образом, два аспекта, связанные с глобализацией экономики и устойчивым развитием, заставляют ставить вопрос о необходимости разработки новой энергетической стратегии России.

Академик И.В. Горынин

Как следует из прослушанных сегодня докладов, в настоящее время существует понимание необходимости строительства новых современных экономически эффективных энергоблоков, обеспечивающих покрытие дефицита в выработке электроэнергии. Главные направления современной энергетики – тепловая и атомная. Остальные направления внесут существенно меньший

вклад. Поэтому останавлиюсь только на разработке новых высокоэффективных конструкционных материалов для тепловой и атомной энергетики.

Сейчас мы в основном работаем на традиционных паросиловых установках с относительно низким КПД, достигающим только 35%. Основная задача – обеспечить в ближайшие 10–15 лет прорывную технологию, а таковой является переход на суперсверхкритические параметры пара с резким снижением расхода горючего на единицу электрической мощности. Для этого нужно в ближайшие годы разработать и производить сравнительно дешёвые конструкционные материалы паросилового тракта. Я имею в виду материалы для паропроводов, роторов турбин, турбинных лопаток, которые обладают всеми необходимыми параметрами для работы при параметрах пара 30 МПа и 610–620 градусах. Таким образом, перед российскими материаловедомы стоит задача создать элитный класс сталей, легированных сильными карбидообразующими элементами. Производство и применение такого класса сталей даст нам возможность совершить рывок с увеличением КПД парогазовых установок до 50–60%. Данная задача сейчас решается, как говорилось в докладах, в США, Японии, Франции, Германии. Причём совершенно ясно, что страна, которая сможет освоить первой промышленное производство крупногабаритных элементов энергоустановок, займёт лидирующее место на мировом рынке как поставщик наиболее конкурентоспособного оборудования.

Хотел бы сказать пару слов о материалах для атомной энергетики. Созданные в своё время радиационно-стойкие стали для корпусов АЭС надёжно служат уже 25–30 лет. Мы отработали в стране все технологии, связанные как с их производством, так и с эксплуатацией. Однако есть одна проблема. Когда-то по истечению срока службы блоки реакторов АЭС нужно будет выводить из эксплуатации. Спад наведённой активности на этом оборудовании до безопасного уровня требует выдержки 10 тыс. лет. Это процесс очень трудоёмкий, дорогостоящий и представляет собой сложнейшую экологическую проблему. Для этого, чтобы в будущем радикально изменить условия вывода из эксплуатации корпусов атомных реакторов, мы трудимся над созданием так называемых малоактивируемых сталей. Главное их преимущество в том, что при выводе из эксплуатации реактора мы сокращаем время спада наведённой активности корпуса до безопасного уровня на два порядка, то есть с 10 тыс. лет до 100. Это существенно укорачивает срок хранения, даёт возможность возвращать высококачественный металл в промышленное производство, уменьшает дозу облучения, которой будет подвергаться работник при утилизации.

Разработка таких сталей имеет очень важное значение и для будущей энергетики. Я имею в виду создание энергетических установок газоохлаждаемых гелиевых реакторов, которые потребуются нам для водородной энергетики.

В этом направлении перспективны титановые сплавы, которые по своей физической природе являются малоактивируемым материалом. Академик А.Ю. Румянцев сегодня говорил, что сейчас просматривается тенденция на создание реакторов малой и средней мощности – 200–300 МВт. С учётом результатов, достигнутых при исследовании титановых сплавов, и многолетнего успешного опыта их эксплуатации, который мы накопили, это становится

совершенно реальным. В этом случае мы получаем, помимо всех других преимуществ, которыми обладают титановые сплавы – совершенно рекордный результат при выводе таких реакторов из эксплуатации. Когда закончится ресурс, их можно будет утилизировать и использовать в промышленном производстве уже через полтора-два года.

К сожалению, нет времени останавливаться на вопросах водородной энергетики, которая тоже потребует создания новых функциональных материалов каталитического класса для систем получения и хранения водорода.

Заканчивая, хочу подчеркнуть, что дальнейшее развитие энергетического комплекса страны самым тесным образом связано с масштабными исследованиями в области науки о материалах.

Академик Н.Л. Добрецов

Проблемы, связанные с энергетикой, интересуют и волнуют в профессиональном отношении всех членов академии так же как и граждан России. Поэтому неудивительна постановка этой проблемы на Общем собрании и её широкое обсуждение, которое будет продолжено в дискуссиях за “круглым столом”.

В Сибирском отделении РАН была проведена научная сессия, посвященная проблемам нетрадиционной энергетики. На ней рассматривалась не только нетрадиционная энергетика, но и вопросы энергосбережения. В конце Постановления Сибирского отделения по результатам этой сессии было отмечено, что эффективное развитие нетрадиционной энергетики возможно при соответствующем уровне энергосберегающих технологий и государственном регулировании на основе выделенных и научно обоснованных приоритетов. Последние очень важны, поскольку некоторые виды нетрадиционной энергетики, такие как ветровая и приливная, вызвали ряд сомнений, а другие – например, солнечная и гидроэнергетика на малых реках, – могут развиваться в небольших масштабах в удалённых районах Сибири и Дальнего Востока.

Особое значение имеет энергетика будущего, связанная с водородом. Речь идёт о замене традиционного моторного топлива на новые виды, основанные на синтез-газе, обогащенном водородом. Причём синтез-газ может быть получен из природного газа, угля, возобновимых биоресурсов, и каждая страна (об этом свидетельствует опыт международных совещаний) пытается найти свой оптимальный путь. В странах, где много угля (например, в Китае), ориентируются на выработку синтез-газа из угля. Там, где много биоресурсов (например, в Бразилии), топливо будут производить из этого сырья. Россия может использовать все три ресурса, применяя создающиеся технологии. Таким образом, речь идёт не о первичных ресурсах, а о тех новых технологиях, которые приведут к кардинальной замене традиционных моторных топлив.

В ходе обсуждения и в решении Сибирского отделения председателям научных центров было предложено принять необходимые меры поддержки, разработки и реализации, во-первых, энергосбережения, во-вторых, тех нетрадиционных энергетических технологий, которые исключительно важны для северных регионов, в том числе в направлении работы с заинтересованными фирмами малого и среднего бизнеса, и в-третьих – рекомендовать

Комиссии по интеграционным проектам Сибирского отделения поддержать фундаментальные исследования по междисциплинарным интеграционным проектам, вносящим *вклад* в энергосбережение и развитие энергетики.

На расширенной научной сессии Президиума рассматривались результаты работ по интеграционным проектам и отмечен их высокий уровень, а также было рекомендовано усилить работу по отбору нового цикла проектов. Ориентирами для отбора должны быть получение фундаментальных научных результатов мирового уровня и сосредоточение исследований на стыках наук, которые не могут выполняться институтами по отдельности. Для подобных энергетических исследований это особенно важно, потому что многие стратегические вопросы могут быть решены только совместными усилиями больших групп специалистов разного профиля.

В заключение несколько слов о личных впечатлениях от заслушанных пленарных докладов. Мне как геологу ближе всего выступление Н.П. Лавёрова. Этот доклад сбалансирован, в нём правильно расставлены акценты. Особенно важна заключительная часть о том, что выполнить всё то, о чём здесь говорилось, можно только при привлечении инвестиций.

По-видимому, будут и ещё обсуждения на “круглых столах” о путях привлечения крупномасштабных инвестиций, но, думаю, что ряд предложений достаточно очевиден. Если атомная энергетика в значительной мере обеспечивает саморазвитие за счёт части тарифов, то это можно сделать и в некоторых других случаях, поскольку будет происходить изменение соотношения цен на газ, уголь и другие виды топлива (увеличение цен на газ совершенно очевидно). В ожидаемом повышении цен на газ должны быть заложены и ресурсы на саморазвитие, на инвестиции. Возможны и другие пути. Значительные денежные суммы поступают в бюджет страны благодаря высоким ценам на нефть и газ. Наша задача в том, чтобы найти те механизмы, которые переадресуют дополнительные средства на инновационный вклад в развитие энергетики, без чего невозможно развитие экономики и нашего общества. Академия наук должна держать в центре внимания эти и другие вопросы развития энергетики, подготовив предложения по созданию Национальной программы развития энергетики и энергетических технологий.

Член-корреспондент РАН И.В. Грехов

В промышленно развитых странах около 60% вырабатываемой электроэнергии проходит через полупроводниковые преобразователи, где она переводится в форму, наиболее удобную и экономичную для потребителя. В России через полупроводниковые преобразователи проходит примерно 30% электроэнергии. Оценки показывают, что увеличение этой доли до мирового уровня позволит экономить 12–15% всей вырабатываемой электроэнергии. Относительно малый объём преобразования электроэнергии в России связан в основном с искусственно занижаемой в течение многих лет её ценой.

Применение полупроводниковых преобразователей даёт возможность резко снизить потребление электроэнергии, например, в области электропривода, где используется около 50% вырабатываемой электроэнергии. Переход на частотное регулирование скорости вращения двигателя экономит в сред-

нем 25%, а на электротранспорте – более 30% энергии. Большую экономию дают полупроводниковые компенсаторы реактивной мощности и другая полупроводниковая аппаратура, которой оснащаются линии электропередач.

Основными активными элементами преобразователя являются силовые полупроводниковые приборы, изготавливаемые уже почти полвека из монокристаллического кремния. Современные приборы делятся на две группы. Первая – это мощные диоды, тиристоры и запираемые тиристоры. Технологические основы производства этих приборов, сейчас применяемых для преобразования очень больших мощностей (от нескольких мегаватт и выше), были заложены в 1960-х годах. Вторая группа – это полевые и биполярно-полевые транзисторы (MOSFET и IGBT). Они, по сути, представляют собой силовую интегральную схему из нескольких сотен тысяч элементарных ячеек на одном чипе. Приборы второй группы используются в диапазоне средних и малых мощностей, где потребляется основное количество электроэнергии.

В СССР силовое полупроводниковое приборостроение как отрасль электротехнической промышленности было создано в начале 1960-х годов в результате совместной работы Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе (г. Ленинград), завода “Электровыпрямитель” (г. Саранск) и Всесоюзного электротехнического института им. В.И. Ленина (г. Москва). Основные приборы того времени – силовые диоды и тиристоры – по параметрам соответствовали мировому уровню, их стоимость, во многом благодаря эффективной технологии, была примерно вдвое ниже мировой, а объем производства на пяти специализированных заводах полностью обеспечивал потребности всех отраслей отечественной промышленности. В середине 70-х годов прошлого века наметилось отставание отрасли от мирового уровня, которое стало катастрофическим в 90-х годах, когда в мировой силовой электронике произошли революционные изменения, связанные с массовым производством мощных полевых и биполярно-полевых транзисторов. В силу известных обстоятельств российская промышленность никакого участия в этом процессе не принимала, и в результате сейчас в России нет собственного производства самых массовых приборов силовой электроники.

Структура российского рынка силовых полупроводниковых приборов в 2004 г. выглядела так: приборы первой группы (тиристоры и диоды) – 44% (собственное производство), приборы второй группы (IGBT, MOSFET) – 56% (только импорт). Такая зависимость от импорта в этой важной и быстро развивающейся отрасли опасна и экономически, и стратегически. Конечно, предпринимаются попытки изменить ситуацию. Так, небольшое сборочное производство IGBT на основе импортных чипов налажено в Саранске. IGBT-чипы на диапазон напряжений 600–1200 В разработаны в Брянске и Новосибирске, но в этом диапазоне напряжений конкуренция со стороны зарубежных фирм оказалась слишком высокой. Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе совместно с промышленностью приступил к разработке прибора, альтернативного IGBT, для диапазона напряжений 2–6 кВ, где конкуренция значительно слабее. В целом, однако, масштаб этих работ пока совершенно недостаточен для сколько-нибудь серьезного изменения положения.

Иная ситуация сложилась в силовой полупроводниковой импульсной электронике, которая, хотя и составляет малую часть всей силовой электро-

ники, является принципиально важной для многих новых промышленных и оборонных технологий, а также для ряда базовых направлений физических исследований, например, термоядерного синтеза с инерционным удержанием плазмы. Физическая база для создания полупроводниковых переключателей, которые способны работать в области импульсных мощностей вплоть до десятка гигаватт и имеют время нарастания импульса от десятков пикосекунд до десятков микросекунд, была создана в России. И в наши дни Россия продолжает занимать лидирующие позиции в этой области силовой электроники, а отечественная импульсная техника уже более 15 лет экспортируется во все ведущие страны мира.

Несколько слов о перспективах силовой электроники. В течение всего полувекового господства кремния в силовой электронике было ясно, что карбид кремния (SiC) по своим физическим свойствам гораздо более перспективный материал, чем монокристаллический кремний. Карбид кремния имеет на порядок большую напряжённость поля лавинного пробоя, втрое большую теплопроводность и вдвое большую насыщенную скорость электронов. Рабочая температура у него примерно втрое выше, чем у кремния, из-за большей ширины зоны, на два порядка выше радиационная стойкость. Такое сочетание параметров позволяет резко улучшить характеристики практически всех приборов силовой электроники и преобразователей на их основе. Реально карбид кремния приборного качества стал коммерчески доступен в последние 5–6 лет, после чего работы по созданию SiC-силовой электроники начали развиваться очень быстро.

В 80-х годах прошлого века СССР лидировал в области SiC-технологий, но затем в связи с известными событиями финансирование работ прекратилось, а созданные технологии ушли за рубеж вместе с эмигрантами. В США при широкой государственной поддержке началось быстрое развитие SiC-технологий. Предполагается, что к 2015 г. основная часть военной и значительная часть общепромышленной силовой электроники там будут базироваться на карбиде кремния. Если не принять решительных мер, наше отставание скоро станет безнадёжным. До недавнего времени именно такой ход событий представлялся неизбежным, однако сейчас появилась слабая надежда. Нам удалось убедить руководство Республики Мордовия, где расположен завод, выпускающий примерно 80% российских силовых полупроводниковых приборов, начать работы по созданию SiC-индустрии. Из республиканского бюджета Мордовии выделены средства для закупки за рубежом базового технологического оборудования, организации Научно-производственного комплекса широкозонных материалов с филиалом в Санкт-Петербурге. Планируется в течение нескольких лет создать небольшое производство с полным циклом: SiC-монокристаллы, пластины, еpi-пленки и приборы на их основе.

В заключение подчеркну, что ускоренное развитие силовой электроники и преобразовательной техники – это наиболее быстрый и наименее затратный путь снижения энергоёмкости ВВП и уменьшения необходимой скорости роста производства электроэнергии. Для нормального развития этой отрасли в России нужно принять срочные меры по созданию собственного производства полевых и биполярно-полевых транзисторов,

а также провести модернизацию производства мощных диодов, тиристоров и запираемых тиристоров. Сейчас ещё есть время также и для того, чтобы стать участниками, а не зрителями надвигающейся карбидкремниевой революции в силовой электронике. Если эта возможность будет упущена, Россия потеряет силовую электронику, как в своё время потеряла микроэлектронику.

СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

*Академик Е.П. Велихов
и академик В.П. Смирнов*

В истории термоядерного синтеза, насчитывающей более 50 лет, наступил этап, который должен открыть путь к промышленному внедрению термоядерной энергетики. Эйфория, охватившая общество в 1960-х годах после успехов в создании термоядерного оружия и освоения первых атомных реакторов деления, коснулась и учёных-плазмистов, обещавших старт термоядерной энергетики через 20 лет. Однако практика научного развития ещё раз показала, как осторожно надо подходить к такого рода предсказаниям. Сложность проблемы создания термоядерного источника энергии в земных условиях была явно недооценена. Оказалось, что необходимо развить теорию равновесных конфигураций плазмы, детально проанализировать дрейфы частиц в сложной геометрии магнитных полей. В замагниченной плазме возбуждались многочисленные магнито-гидродинамические и кинетические неустойчивости, увеличивая перенос частиц и энергии на стенки вакуумной камеры. Возникающие примеси охлаждали её. Потребовались десятилетия фундаментальных исследований многообразия процессов в плазме, в результате которых возникла новая область физики – физика горячей плазмы. Только благодаря её развитию параметры термоядерных установок постепенно приближались к значениям, представляющим интерес для энергетического термоядерного реактора.

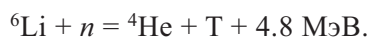
Хотя и сегодня нельзя утверждать, что физика способна описать и предсказать все процессы, происходящие в удерживаемой замагниченной горячей плазме, её достижений как в теории, так и в эксперименте уже достаточно, чтобы перевести в практическую плоскость вопрос о сооружении первого экспериментального термоядерного реактора, в котором выделяемая мощность в реакциях синтеза на порядок величины превзойдёт энергозатраты на поддержание плазмы в реакторе. Установка, на которой это предполагается осуществить, получила название Международного термоядерного экспериментального реактора – ИТЭР. В настоящем докладе будут освещены достоинства, проблемы и возможное место термоядерной энергетики в энергетической системе мира.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

В основе термоядерной энергетики лежат реакции синтеза лёгких ядер, в которых удельная выделяемая энергия превосходит удельную энергию, освобождаемую при делении тяжёлых ядер. Среди многих возможностей синтеза первоочередной практический интерес представляет слияние ядер тяжёлых изотопов водорода – дейтерия и трития – в реакции:



Основной энергвыход этой реакции приходится на нейтроны, а на образующиеся ядра гелия – только 20% энергии. Утилизация энергии ядер гелия идёт через тонкий поверхностный слой камеры реактора, подвергаемый разрушению при бомбардировке ионами плазмы. Очевидно, что в проектах реакторов должны предусматриваться меры по защите стенки и её восстановлению. Топливный дейтерий-тритиевый цикл можно осуществить только при воспроизводстве трития. Дело в том, что, поскольку период полураспада трития равен 12.4 года, он отсутствует на Земле. Для его получения используется реакция нейтронов – продуктов синтеза – с литием



Таким образом, фактически топливом для термоядерного реактора, использующего дейтерий-тритиевый синтез, служат дейтерий и литий. Распространённость этих элементов в природе достаточна, чтобы говорить о практической неисчерпаемости их запасов. Оптимальный режим работы реактора может быть достигнут при выполнении условия:

$$nT\tau_e \geq 10^{20} \text{ с} \cdot \text{кэВ/м}^3.$$

Здесь n – число частиц в 1 м^3 , T – температура ионной компоненты плазмы (от 100 до 200 млн градусов), τ_e – время удержания энергии в плазме (секунды). Это условие является основой внутренней безопасности термоядерного реактора: в режиме стационарной работы плазма должна быть изолирована от стенки реактора, причём любое нарушение термоизоляции ведёт к мгновенному охлаждению и остановке реакции.

Для поддержания реакции в термоядерной плазме А.Д. Сахаров и И.Е. Тамм в 1950 г. предложили использовать тороидальные камеры, помещаемые в продольное магнитное поле. С 1954 г. в Курчатовском институте разрабатывались такие камеры, получившие название “токамак”. Позднее они были приняты мировым сообществом за основу для первых термоядерных реакторов.

Другой подход к осуществлению термоядерного синтеза, названный инерционным удержанием, базируется на использовании повторяющихся взрывов малых порций дейтерия и трития. Хотя исследования в области инерционного удержания исключительно важны для работ по физике высоких плотностей энергии и исторически имели преимущественное финанси-

рование, энергетические перспективы этого направления представляются более отдалёнными.

Отдельно следует остановиться на безнейтронных реакциях термоядерного синтеза. Наиболее привлекательна реакция:



При этом оптимальная температура D-³He плазмы составляет 500–700 млн градусов. Кроме того, её термоядерное горение сопровождается более мощным циклотронным и рентгеновским излучением, что также ставит дополнительные проблемы перед разработчиками реактора.

Существенное преимущество D-³He реактора состоит в уменьшении в 20–30 раз нейтронного потока, возникающего из-за побочных и вторичных реакций D-D, ³He-T, D-T. Средняя энергия нейтронов, образующихся в первых двух реакциях, в несколько раз ниже, чем в последней, что также ведёт к уменьшению уровня активации конструкций реактора. Расчёты показывают, что в целом активация падает в 50–60 раз по сравнению с D-T реактором равной тепловой мощности. В итоге время эксплуатации конструктивных элементов реактора по отношению к радиационным повреждениям может составить десятки лет, а их повторная переработка не будет сопряжена с трудностями из-за активации материалов.

Легкий изотоп гелия отсутствует на Земле. Его добыча возможна на Луне, где запасы гелия-3 оцениваются примерно в 1 млн т. По существующим оптимистичным оценкам, доля затрат на его добычу и транспортировку на Землю составляет ≥ 6% от стоимости выработанной реактором электроэнергии. Многочисленные проблемы физики и техники, связанные с реализацией D-³He реакции, относятся к классу поисковых исследований.

ТОКАМАК – ОСНОВА ПЕРВЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕАКТОРОВ

Среди многообразия магнитных ловушек начального этапа термоядерных исследований общепризнанным лидером стала установка токамака, созданная в Курчатовском институте. К 1969 г. температура и энергетическое время удержания плазмы в токамаке намного превосходили результаты других установок, что и предопределило начало интенсивного строительства токамаков во всех ведущих лабораториях мира. К настоящему времени построено около 200 токамаков, создана уникальная экспериментальная база. Были изучены разнообразные режимы работы токамака, установлены эмпирические законы подобия – скейлинги, одновременно с экспериментами проводились теоретические исследования и разрабатывались вычислительные коды. Всё это в конечном счёте послужило базой проектирования ИТЭРа.

Современный токамак имеет тороидальную камеру с несимметричным сечением, вытянутом в вертикальном направлении. Камера окружена соленоидом для создания тороидального магнитного поля. Тороидальные магнитные поля создаются специальными катушками. Важнейшим достижением техники токамаков стали сверхпроводящие соленоиды. Впервые они были установлены на токамаке Т-7, а затем – на Т-15 под руководством члена-корреспондента РАН Н.А. Черноплёкова. Ток в плазменном шнуре

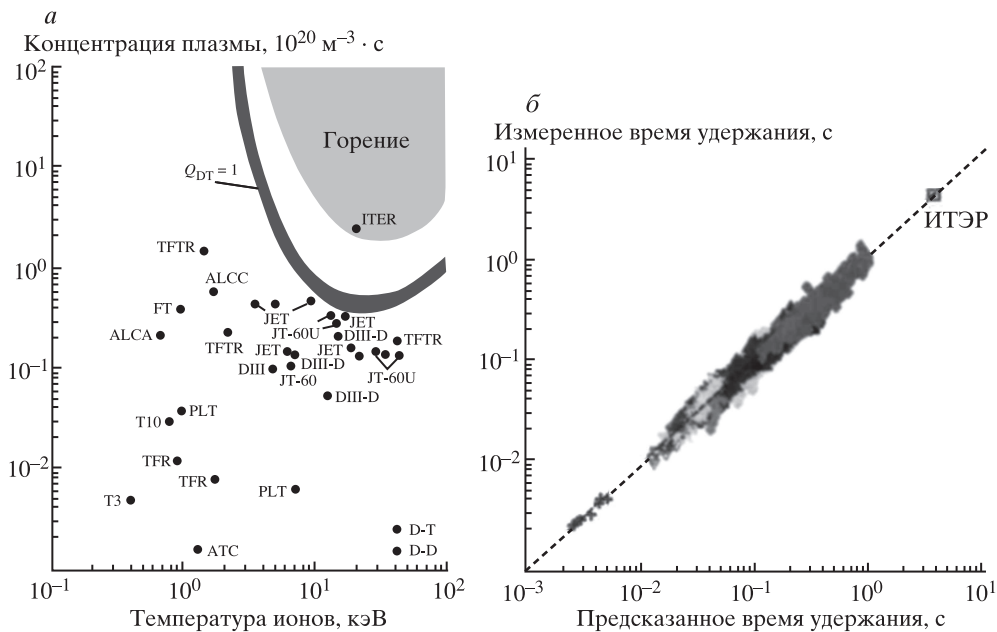


Рис. 1. Экспериментальная база исследований на токамаках

a – критерий Лоусона, 16 МВт термоядерной мощности достигнуто на европейском токамаке JET в 1998 г.; *b* – сопоставление экспериментальных значений времени удержания и скейлинга ИТЭР Н-98Р (у. 2)

возбуждается азимутальным индукционным полем, генерируемым переменным магнитным потоком центрального соленоида. Таким образом, импульс тока в классическом токамаке ограничен временем достижения максимума потока. Это первоначально позволяло рассматривать токамак лишь как квазиимпульсную систему. Однако выяснилось, что в тороидальной плазме возникает продольный ток из-за градиента давления плазмы, инжекция пучков нейтральных атомов и высокочастотных полей также создаёт тороидальные токи в плазме. В результате были получены стационарные режимы разряда без индукционных электрических полей длительностью до нескольких часов на малом токамаке ТРИАМ-М (Япония) и до нескольких минут на крупном токамаке Тор Супра (Франция).

Магнитные силовые линии в токамаке образуют систему вложенных поверхностей. Разомкнутые магнитные силовые линии, находящиеся непосредственно за предельной магнитной поверхностью – сепаратрисой, направляются в отдельную область – дивертор. Продукты реакций гелия, не сгоревшие дейтерий и тритий, а также электроны и примесные ионы по этим силовым линиям попадают преимущественно в дивертор, где нейтрализуются и откачиваются из объёма камеры. Дивертор работает в условиях больших плотностей потоков энергии и является критическим узлом реактора, имеющим ограниченный ресурс службы. На стенки камеры воздействуют потоки нейтронов, излучения из плазмы и частицы, не попавшие в дивертор. Хотя в целом плотность энерговыделения на стенке камеры меньше, чем в диверторе, для неё также требуются стойкие материалы и периодическая замена элементов из-за процессов эрозии.

Нагрев плазмы до термоядерных температур в токамаке осуществляется на начальном этапе током, а затем пучками нейтральных частиц и высокочастотными генераторами, которые возбуждают волны в плазме, поглощаемые на её резонансных частотах. Измеренные в опытах на токамаке рекордные температуры в 500 млн градусов превзошли величины, требуемые для термоядерной реакции. Хотя ещё нет полного понимания физики нагрева плазмы, в особенности высокочастотными волнами, сегодня никто уже не сомневается в достижимости проектных величин в будущих реакторах.

По условиям равновесия предельное давление плазмы не превосходит нескольких процентов от давления магнитного поля, а его реальная величина зависит от мощности нагрева и скорости потерь энергии из плазмы, определяемой развитием многочисленных неустойчивостей. В последнее время достигнут существенный прогресс как в понимании физики развития неустойчивостей, так и в методах подавления наиболее опасных из них. К ним относятся неустойчивости перезамыкания магнитных силовых линий, ведущие к образованию островной структуры магнитных поверхностей, и неустойчивости, связанные с конечной проводимостью стенок камеры. Применение мощных гиротронов, а также дополнительных магнитных полей позволяет управлять развитием этих неустойчивостей.

Одним из наиболее интересных открытий, сделанных в последние годы, является обнаружение так называемых транспортных барьеров. Вблизи барьеров транспортные коэффициенты падают до классических пределов, что приводит к повышению температуры и времени удержания энергии в плазме. Впервые такие барьеры на границе плазменного шнура наблюдались на немецком токамаке ASDEX в так называемой H-моду удержания. Затем, в 1990-е годы, были получены внутренние транспортные барьеры, также улучшающие удержание в токамаке. Сегодня существует новый класс режимов с улучшенным удержанием, в котором выбираются профили распределения тока в плазме, определяемые локальными воздействиями высокочастотных волн и пучков частиц. Хотя этот класс режимов демонстрирует лучшие параметры плазмы, но недостаточное понимание их природы и относительно малая экспериментальная база данных послужили причиной того, что до недавнего времени в качестве базового в проектах термоядерных реакторов выбирался более консервативный, но лучше изученный режим с H-моду. На рисунке 1 показана база данных по времени удержания, учитывающая наблюдавшееся удержание в H-моду на разных токамаках во многих тысячах разрядов. Осуществление новых режимов улучшенного удержания плазмы расширит возможности реакторов-токамаков.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СИСТЕМЫ МАГНИТНОГО УДЕРЖАНИЯ ПЛАЗМЫ

Успех токамаков, определивших основную линию термоядерных разработок, достигнут в конкурентной борьбе с другими проектами магнитных ловушек. На некоторое время исследователи даже утратили к ним интерес. Однако по мере развития физики термоядерной плазмы и на других магнитных системах, например, стеллараторах, предложен-

ных Л. Спитцером в США в конце 50-х годов прошлого столетия, начали получать впечатляющие результаты. В современном стеллараторе (та же тороидальная ловушка) для удержания не требуется возбуждать ток в плазме. Следствием этого стало отсутствие целого класса магнитогидродинамических неустойчивостей, в частности, наиболее опасной, приводящей к срыву, выбрасывающему плазменный шнур на боковую стенку камеры.

Вращательное преобразование магнитных силовых линий и формирование магнитных поверхностей в стеллараторе обеспечивается внешними катушками магнитного поля со сложной трёхмерной геометрией витков. Теория предсказывает, что в стеллараторе максимальное относительное давление плазмы может быть больше, чем в токамаке. В результате повышается эффективность использования магнитных полей. Разработка группой физиков-теоретиков под руководством Ю. Нюрнберга (Германия) и академика В.Д. Шафранова новых принципов оптимизации магнитных полей позволяет надеяться на дальнейшее улучшение удержания плазмы в стеллараторах. В крупнейшем действующем в Японии стеллараторе LHD достигнута температура в десятки миллионов градусов при таком же времени удержания, как в токамаках. Крупнейший стелларатор W-7X строится в Германии, и окончание его строительства намечено на 2010 г. Но стеллараторы-реакторы будут отличаться от токамаков-реакторов большими размерами, а следовательно, и большей стоимостью демонстрационной установки.

Магнитные ловушки – системы с открытыми торцами замагниченной плазмы – активно разрабатывались в 1950–1980 гг., но ощутимых результатов не было достигнуто из-за развития неустойчивостей. В магнитных ловушках возможны режимы, когда давление плазмы на оси камеры превосходит давление магнитного поля. Такие системы способны наиболее эффективно использовать дорогостоящие магнитные поля, поэтому с инженерной точки зрения они предпочтительнее. Однако медленно текущий прогресс несколько охлаждал интерес к магнитным ловушкам.

В России результаты мирового класса по физике магнитных ловушек получены в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН под руководством академика Э.П. Круглякова на двух системах: газодинамической ловушке, привлекающей к себе внимание как возможный источник термоядерных нейтронов для материаловедческих исследований, и многопробочной ловушке ГОЛ, где достигнуты максимальные величины температуры электронов и времени удержания плотной нагретой плазмы. В университетских лабораториях мира исследуются и другие системы магнитного удержания, например, пинчи с обращенным полем, ловушки с левитирующими витками и др. Каждая из них представляет интерес, прежде всего, для физики горячей плазмы.

Оценивая ситуацию с исследованиями альтернативных систем магнитного удержания, можно отметить, что по отношению к токамакам они отстают на 10–20 лет, а значит, исключена возможность создания в ближайшем будущем на их базе энергетического термоядерного реактора. Вместе с тем продолжение работ по альтернативным системам важно для подготовки последующих этапов развития термоядерной энергетики.

ИНЕРЦИОННОЕ УДЕРЖАНИЕ

В термоядерных реакторах с инерционным удержанием плазмы должен осуществляться последовательный поджиг мишеней, энерговыделение из которых покрывает внутренние потребности реактора ($<10\text{--}30\%$) и обеспечивает энергией внешних потребителей. Для станции, имеющей электрическую мощность ~ 1 ГВт, это означает выделение $\sim 3\text{--}4$ ГДж энергии в секунду, что накладывает ограничения на частоту повторения взрывов и освобождение энергии в каждом из них. Можно принять для оценки, что при поджиге одной мишени выделяется не менее 1 ГДж, поскольку после каждого взрыва камеру надо откачать, а следовательно, частота повторения взрывов не может превосходить 10 импульсов в секунду. Современный этап работ по инерционному термоядерному синтезу связан с исследованием возможности поджига одной мишени, что представляет большой интерес для исследований в области физики и техники высоких плотностей энергии.

Помимо решения проблем устойчивости сжатия и нагрева термоядерного горючего, важнейшим вопросом остается выбор источника импульсного воздействия (драйвера) на мишень. Сегодня основные кандидаты на эту роль – лазеры. В США и Франции строятся две крупнейшие лазерные установки – NIF и LMG, энергии излучения которых (~ 2 МДж) будет достаточно, по современным представлениям, для поджига мишени с энерговыделением < 0.1 ГДж. Ожидается, что это событие может произойти в 2010 г. Реализация термоядерного взрыва в лабораторных условиях, безусловно, интенсифицирует разработку концепций термоядерных реакторов с инерционным удержанием. В России во ВНИИ экспериментальной физики (Саров) также создаётся лазерная установка “Искра-6” с более скромными параметрами по энергии излучения (300–600 кДж). Тем не менее эта установка должна сыграть важную роль в российских исследованиях по инерционному удержанию плазмы.

Другие кандидаты на роль драйвера – Z-пинчи и ускорители тяжёлых ионов. На установке “Ангара 5-1” в Троицком институте инновационных и термоядерных исследований (ТРИНИТИ) успешно продемонстрирована возможность использования Z-пинча, питающегося от сверхмощного (≈ 6 ТВт) электрического генератора для поджига мишени. Это направление получило дальнейшее развитие на крупнейшем в мире генераторе Z (≈ 50 ТВт) в США, где получены рекордные величины энергии мягкого рентгеновского излучения (1.8 МДж), необходимого для сжатия мишени. В России разрабатываются проекты таких установок на основе индуктивных накопителей (“Байкал”, ТРИНИТИ) и взрывомангнитных генераторов (ЭМИР, ВНИИ экспериментальной физики), а также совместно с лабораторией Сандиа (США) анализируется концепция энергетических реакторов на базе Z-пинчей.

Технически наиболее привлекательно в качестве драйверов выглядят ускорители тяжёлых ионов с энергией ≤ 1 ГэВ, поскольку они обладают высокой эффективностью ($\sim 30\%$) и простотой осуществления частотного режима работы. В России, Европе и США разработано несколько схем поджига мишеней, подготовлены концептуальные проекты ускорителей с энергией пучков ≤ 10 МДж. Однако развитие этого направления сдерживается высокой стоимостью экспериментальных и демонстрационных установок. Вполне

возможно, что в инерционном удержании поджиг мишени, осуществлённый на лазерах или Z-пинчах, будет стимулировать работы по тяжёлоионному термоядерному синтезу, а в магнитном удержании поддержку получают альтернативные схемы.

ПРОЕКТ ИТЭР

В 2001 г. в результате многолетней и весьма эффективной деятельности уникального международного научно-технического объединения физиков и инженеров стран Европейского союза, России (СССР), Японии и США завершена разработка ИТЭРа. Впервые удалось создать окончательно согласованный проект экспериментального термоядерного реактора с использованием современных материалов и возможностей техники. Проект основан на экспериментально подтверждённой концепции токамака. В процессе проектирования были проанализированы и систематизированы данные расчётно-теоретических и экспериментальных исследований, накопленные за десятилетия в лабораториях многих стран мира. Показателем мощного прогресса, достигнутого в исследованиях по управляемому термоядерному синтезу, в частности, на токамаках за прошедшие 30 лет, является хорошо известный факт: если в 1969–1970 гг. в рекордных экспериментах на советском токамаке Т-3 впервые удалось получить термоядерное энерговыделение порядка 1 МВт, то в 1998 г. на европейском токамаке JET была достигнута мощность 16 МВт. В ходе разработки проекта ИТЭР были созданы и испытаны все основные элементы конструкции реактора. Комплексный анализ свидетельствует об уникальной ситуации в истории создания крупномасштабной новой техники, когда уверенность в решении основных проектных задач, по мнению практически всех экспертов, превышает 90%.

Проектные задачи ИТЭРа: достижение мощности термоядерного энерговыделения 500–700 МВт в течение 400–3000 с; изучение возможности осуществления стационарного поддержания работы реактора, испытание технологий и узлов реактора, а также системы самообеспечения реактора тритием. Основные параметры ИТЭРа:

- полная термоядерная мощность – 500 (700) МВт;
- отношение термоядерной мощности к мощности дополнительного нагрева плазмы – 10 (5);
- длительность разряда – 400 (3000) с;
- большой радиус плазмы – 6.2 м;
- малый радиус плазмы – 2.0 м;
- ток плазмы – 15 (17) МА;
- тороидальное магнитное поле на оси – 5.3 Т;
- объём плазмы – 900 м³;
- мощность дополнительного нагрева – 73 МВт.

(В скобках указаны параметры, которые планируется реализовать на втором этапе экспериментов на ИТЭРе.)

Высокотемпературная D-T плазма создаётся в вакуумной тороидальной камере, стенки которой защищаются бланкетом, воспринимающим поток

энергии из зоны реакции. Продукт реакции (гелий), а также примеси удаляются на дивертор, оснащённый системой дополнительной вакуумной откачки. Расчётные потоки тепла на стенку камеры в ИТЭРе составляют 0.6 МВт/м^2 , а на диверторе из-за периодического импульсного характера выбросов плазмы они могут достигать 10 МВт/м^2 . Для нагрева плазмы и поддержания тока используются пучки быстрых нейтральных атомов и интенсивное высокочастотное излучение. Полная проектная мощность этих систем – 73 МВт. ИТЭР будет иметь крупнейшие в мире сверхпроводящие катушки магнитных полей, в том числе и на базе сверхпроводника Nb_3Sn . В состав комплекса входят устройства для подачи и безопасного хранения трития. В целом реакторный комплекс ИТЭР в существенной степени моделирует будущие энергетические термоядерные реакторы и является последней ступенью к строительству демонстрационной термоядерной станции.

В то же время ИТЭР – это исследовательская установка, оснащённая избыточными для будущего реактора возможностями управления поведением плазмы, процессом нагрева, распределения тока и т.д. Значительная часть его стоимости приходится на исследовательский диагностический комплекс. Заложенные в ИТЭРе системы нагрева и управления параметрами плазмы обеспечивают гибкость в выборе режимов, изменении параметров процессов и реализации новых, постоянно возникающих идей в результате физических исследований на существующих токамаках. Так, в последнее время было показано, что в ИТЭРе при температуре плазмы – 100 млн градусов не исключена возможность поддержания термоядерного горения только за счёт самой термоядерной реакции.

Проект ИТЭР соответствует лицензионным требованиям всех сотрудничающих стран, понадобятся лишь минимальные корректировки, обусловленные спецификой конкретной строительной площадки. Проектные требования по безопасности реактора разработаны авторитетными международными организациями. Безусловно, обеспечивается безопасность и персонала, и окружающего населения. При этом следует всё-таки учитывать, что ИТЭР – экспериментальный реактор, и не все достоинства термоядерной энергетики будут в нём продемонстрированы. В частности, в ИТЭРе первая стенка будет изготовлена из нержавеющей стали и медных сплавов, а не из слабоактивируемых материалов, разработка которых для будущих термоядерных реакторов ещё не закончена. Согласно оценкам, время сооружения ИТЭРа составит примерно 8 лет, а его стоимость – примерно 5 млрд долл. Доля финансового участия России в сооружении ИТЭРа не превысит 10–11%, причём основная часть затрат будет покрыта высокотехнологичным оборудованием, произведённым на российских предприятиях.

Построить ИТЭР одной, даже экономически сильной, стране очень трудно как с точки зрения денежных затрат, так и в плане оптимального научного и инженерного обеспечения. Очевидно, что сооружение реактора целесообразно вести общими усилиями, оправдавшими себя на стадии проектирования. Для этого в странах-участницах были созданы объединения научных и конструкторских организаций, руководимые национальными дирекциями. Общую координацию работ осуществляла Центральная команда, которую,

в свою очередь, контролировал Совет ИТЭРа, председателем которого бес­сменно был академик Е.П. Велихов. Основные российские участники проек­та – НИИ электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова, РНЦ “Курча­товский институт”, Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н.А. Доллежала и ВНИИ неорганических материалов им. ак. А.А. Бочвара – привлекли к работе более 200 российских научных и производственных организаций. В условиях резко ограниченного с начала 1990-х годов уровня финансирования Россия всё же сумела выполнить обя­зательства перед руководством проекта, что ставит её в равные условия с другими партнёрами.

С самого начала работ по физике высокотемпературной плазмы главной целью всегда было создание термоядерной энергетики, – под этот “вексель” уже более 50 лет финансируются в мире работы по управляемому термоядер­ному синтезу. Сейчас достигнут уровень понимания, позволяющий убедитель­но продемонстрировать не только физикам, но и будущим инвесторам и мировому сообществу в целом возможность создания энергетического тер­моядерного реактора. Сооружение и эксплуатация ИТЭРа, близкого по своей структуре к реальным энергетическим установкам, покажут потенциальные достоинства термоядерной энергетики. На разработку этого уникального во многих отношениях проекта страны-участницы в целом затратили около 2 млрд долл. Проект завершён, и его надёжность, как уже отмечалось, оце­нивается очень высоко.

К первоначальным участникам проекта в 2003 г. присоединились Ки­тайская Народная Республика и Республика Корея, а также возвратились США, вышедшие из проекта в 1999 г. по внутривнутриполитическим причинам. В декабре 2005 г. в число участников проекта включена Индия. О своём желании присоединиться к работам официально заявило правительство Бразилии. В качестве сопартнёра России в проекте уже ряд лет выступает Казахстан. Летом 2005 г., наконец, был согласован основной спорный мо­мент – выбор места для сооружения реактора. ИТЭР будет строиться во Франции. При этом Франция и Европейский союз должны будут покрыть половину стоимости проекта, остальной вклад в равной доле внесут шесть официальных участников проекта. Планируется, что соглашение о начале строительства ИТЭРа будет в ближайшее время парафировано и направ­лено для подписания сторонами-участницами проекта. Ожидается, что переговорный процесс завершится к лету 2006 г. (возможно, на очередном заседании Большой восьмёрки, которое будет проводиться в Санкт-Пе­тербурге под председательством России). В настоящее время активно ве­дятся необходимые работы по лицензированию, что позволит реально на­чать строительство уже в 2006 г. Можно рассчитывать, что в 2015 г. ИТЭР войдёт в строй.

Мы можем гордиться тем, что в основу первого термоядерного реактора положена разработанная в нашей стране система токамак. Но для того чтобы обеспечить позиции России как в проекте, так и в будущей термоядерной энергетике, одного этого уже мало. Очень важно сохранить в сегодняшней, сложной для науки ситуации нашу экспериментальную базу и высококвали­фицированный коллектив термоядерщиков.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Десятилетия исследований по термоядерному синтезу, громадная база физических и технологических данных, продвинутое понимание физики термоядерной плазмы дают основание для обоснованных выводов о достоинствах и недостатках будущей термоядерной энергетики, направлениях и темпах её развития и областях применения. К числу несомненных достоинств термоядерной энергетики можно отнести следующие:

- отсутствие эмиссии парниковых газов;
- полная внутренняя безопасность, связанная с невозможностью разгона реактора в запредельные режимы из-за потери равновесия и выброса плазмы на стенку реактора, сопровождающегося поступлением охлаждающих паров материала стенки;
- возможность размещения термоядерной электрической станции в непосредственной близости от густонаселённых районов, поскольку, как показывают расчёты, даже при раскрытии камеры реактора в атмосферу поступит не более 50 г трития, что не потребует эвакуации населения, которое живёт на расстоянии 1 км от станции, имеющей электрическую мощность 1.5 ГВт;
- малая остаточная радиоактивность конструкционных материалов и отсутствие опасности их расплавления в случае потери теплоносителя;
- до 60–80% предполагаемых конструкционных материалов (ферритно-мартенситные стали, ванадиевые сплавы, SiC-композиты) могут быть подвергнуты ручной переработке менее чем через 100 лет выдержки, остальная часть может быть переработана дистанционно;
- практическая неограниченность ресурсов топлива (дейтерий, литий) и материалов для сооружения реактора, что снижает опасность межгосударственных политических конфликтов в борьбе за энергообеспечение своих стран;
- непривлекательность термоядерного реактора как объекта атак террористов.

Полезно отметить, что поскольку в термоядерном реакторе нет делящихся радиоактивных материалов, на основании Закона РФ № 28 ФЗ от 1997 г. он не является ядерной установкой.

К числу недостатков можно отнести малую плотность выделения энергии и проблему стойкости первой стенки камеры реактора и дивертора. В результате реактор должен иметь значительные размеры, а элементы первой стенки камеры и дивертора подлежат обновлению в процессе эксплуатации. Для функционирования реактора используются сложные технологические системы формирования пучков нейтралов и генерации мощного СВЧ- и ВЧ-излучения, что потребует привлечения высококвалифицированного обслуживающего персонала. Наконец, сегодня представляется, что мощность термоядерной электростанции должна быть не ниже 1–1.5 ГВт, а это означает, что она неэффективна для энергообеспечения малонаселённых районов. Так что, рассуждая о будущем, нельзя говорить, что вся энергетика сведётся к термоядерным источникам. Термояд займёт важное, но не исключительное место среди безопасных и экологически приемлемых энергосистем.

Объём термоядерной энергетики будет существенно зависеть от её экономических показателей. Не случайно в странах-участницах проекта ИТЭР

постоянно анализируются социоэкономические аспекты управляемого термоядерного синтеза. В качестве примера сошлёмся на европейский анализ, основанный на кодах, применяемых для других видов энергоисточников. Показано, что стоимость киловатт-часа зависит от разработки новых радиационностойких материалов конструкции, первой стенки камеры и дивертора, а также от достижимых физических параметров токамака, таких как давление плазмы, аспектное отношение, плотность и мощность реакции. С учётом затрат на вывод станции из эксплуатации она меняется от 3–6 до 5–9 центов за $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ в оптимистическом и пессимистическом сценариях соответственно. Разумеется, эти цифры будут уточнены в последующем, но сегодня они являются индикатором экономической целесообразности развития термоядерной энергетики.

ПУТЬ К ТЕРМОЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Эксперименты на ИТЭРе дадут ответ на ключевые вопросы физики термоядерного реактора, а именно: устойчива ли плазма с температурой и плотностью реакторного уровня в режиме термоядерного горения, возможен ли контроль неустойчивостей, квазистационарен ли разряд в плазме реакторных размеров. Хотя предварительные экспериментальные результаты по поведению первой стенки реактора и дивертора достаточно оптимистичны, их подтверждение будет крайне важным, равно как и фиксация того факта, что значительные примеси в плазме отсутствуют. Сверхпроводящий соленоид такого масштаба, как в ИТЭРе, а также вся система пучкового и микроволнового нагрева плазмы и генерации токов будут эксплуатироваться впервые.

В то же время ИТЭР не в состоянии ответить на материаловедческие вопросы, предъявляемые к энергетическому реактору, в частности потому, что нейтронная нагрузка на первую стенку исследовательского реактора в 4–5 раз меньше, чем в энергетическом реакторе. Согласно договорённости между Европой и Японией, для материаловедческих испытаний будет строиться источник нейтронов IFMIF со спектром, близким к термоядерному, а в России подобные исследования планируются на атомном реакторе БН-600 на быстрых нейтронах. В материаловедческой программе, помимо испытаний упомянутых конструкционных материалов, намечаются также на специализированных стендах и в токамаках исследования процессов эрозии и разрушения материалов первой стенки реактора и дивертора под действием потоков плазмы и излучения. Данные всех этих исследований и опыт работы ИТЭРа будут положены в основу проекта демонстрационного термоядерного реактора DEMO – последнего шага перед сооружением промышленных термоядерных электростанций.

Задачами DEMO являются опытно-промышленная демонстрация работоспособности термоядерной электростанции, а также уточнение физико-технологических и экономических характеристик проектируемых промышленных реакторов. Опыт работы демонстрационного термоядерного реактора послужит основанием для проектирования первой промышленной станции. Её сооружение ожидается в 2045–2050 гг. В целом проект программы по созданию промышленной станции представлен на рисунке 2. Аналогичные

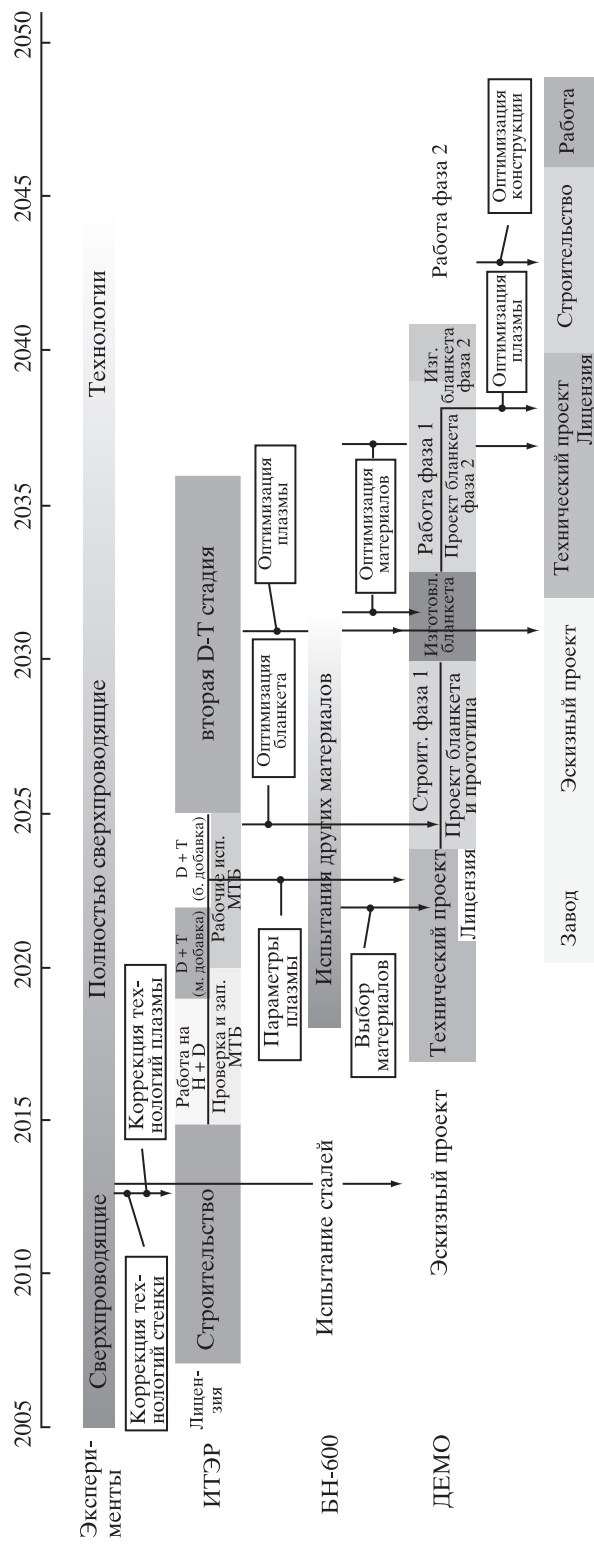


Рис. 2. Российский проект развития термоядерной энергетики
МТБ – модуль тритиевого blankets

программы разработаны в странах-участницах проекта ИТЭР. Оценки показывают, что суммарная электрическая мощность термоядерных станций, которая может быть достигнута к концу XXI столетия, составит 100–500 ГВт.

Создание термоядерной энергетики – беспрецедентное событие в истории человечества. Впервые будет освоен управляемый источник энергии, который ни при каких условиях не мог самопроизвольно возникнуть на Земле, – реактор, обеспеченный запасом топлива на тысячелетия. Нередко можно слышать вопрос: зачем России, обладающей огромными запасами органического топлива, термояд? Ответ очевиден: Россия может остаться без перспективного источника энергии, поставить себя в зависимость от поставок либо энергии, либо высокотехнологичного оборудования термоядерных станций. Термоядерные исследования уже сегодня принесли колоссальную выгоду. В космосе летают плазменные двигатели, впервые разработанные в Курчатовском институте; плазменные технологии, развитые в процессе исследований управляемого термоядерного синтеза, проникли в промышленность и медицину. Работы по ИТЭРу резко подняли экспортный потенциал российских предприятий, реализованный в многочисленных контрактах. В отечественной школе по управляемому термоядерному синтезу и физике горячей плазмы выросла плеяда учёных с мировым именем, созданы основы для воспитания нового поколения молодых учёных.

В заключение ещё раз подчеркнём: развитие управляемого термоядерного синтеза стало результатом глубоких фундаментальных исследований физики плазмы с термоядерными параметрами. Будущая термоядерная энергетика полностью обязана своими успехами фундаментальным исследованиям.

Авторы выражают искреннюю благодарность коллегам – сотрудникам Института ядерного синтеза РНЦ “Курчатовский институт”: Г.А. Елесееву, Н.В. Иванову, В.И. Ильгисонису, Л.К. Кузнецовой, Б.В. Кутееву, А.Н. Мокееву, Г.Е. Ноткину, О.П. Полевой, А.С. Трубникову, а также Н.В. Бокше, способствовавшим подготовке этого доклада.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ТОПЛИВ

*Академик И.И. Моисеев, академик Н.А. Платэ,
доктор химических наук С.Д. Варфоломеев*

Химическая промышленность занимает особое место в мире энергетики, потребляя не только энергию, но и энергоносители (уголь, углеводороды, спирты). В свою очередь, химическая индустрия производит такие энергоносители, как метанол и диметилловый эфир, высокооктановые добавки – метилтрет-бутиловый эфир и этил-*m* – *em*-бутиловый эфир. Все виды моторных топлив получают ныне методами химической технологии. Водород – самый экологически чистый энергоноситель, на который возлагают большие на-

дежды автомобилестроители, создатели и потребители топливных элементов. Вместе с тем водород – тоже продукция и объект потребления химической промышленности. Проблемы водородной энергетики в силу их особой важности представляют собой тему отдельного самостоятельного доклада и здесь рассматриваться не будут.

Сказанное поясняет заинтересованность химиков в тех траекториях, по которым будет развиваться мировая энергетика, в том числе – в постнефтяную эру. Можно упрощённо представить себе два сценария. Согласно первому, задолго до исчерпания главных сегодня природных ресурсов углеводородов (нефти и газа) станут доступны высокопроизводительные и рентабельные промышленные методы производства энергии, базирующиеся на использовании управляемого термоядерного синтеза, энергии солнца, ветра, океанических и морских приливов. Второй ожидаемый сценарий предполагает, что альтернативные методы производства энергии не будут созданы заблаговременно и традиционные источники топлив по-прежнему будут существовать.

Легко видеть, что в обоих сценариях сырьём для химической промышленности ещё долго будут служить ископаемые источники углеводородов. В настоящее время только 5–10% нефти и газа используются для покрытия сырьевых потребностей собственно химической и нефтехимической индустрии. По мере исчерпания легко доступных источников доля углеводородов, идущих в химический передел, будет возрастать за счёт сужения топливного сектора. Возможно, общество вернётся к старым, заброшенным скважинам и другим низкорентабельным для топливной промышленности источникам, чтобы удовлетворить сырьевые потребности химической индустрии*. Человечество вспомнит слова великого Д.И. Менделеева: сжигать нефть – всё равно, что топить печь ассигнациями.

В качестве альтернативных источников энергии нефти обычно противопоставляют уголь, природный газ и в последние годы биомассу [2]. Еще один источник энергии – это твёрдые бытовые отходы, почти неизбежный спутник общества потребления. Объём производства только полиолефинов уже превышает 150 млн т/год.

УГОЛЬ

Проблемы переработки угля в интересах химической промышленности и энергетики хорошо известны. В начале прошлого века вся химическая промышленность базировалась на продуктах термической переработки угля и на ацетилене, который получали из угля. Уголь был сырьём, из него в Германии во время Второй мировой войны и в ЮАР в послевоенные годы получали химикалии и моторное топливо.

* По данным ЭНИН им. Г.М. Кржижановского, потенциал сланцев по жидким углеводородам в 5 раз превышает разведанные запасы нефти. Уже сегодня к этому типу горючих ископаемых и родственных низкопотенциальных ресурсов привлечено внимание промышленности (в Саратове, Ленинградской обл. и др.). Разработанная совместно НТЦ “Экосорб” и ОАО “ЭНИН им. Г.М. Кржижановского” безотходная технология позволяет получать синтетическую нефть с себестоимостью около 50 долл. США за т [1].

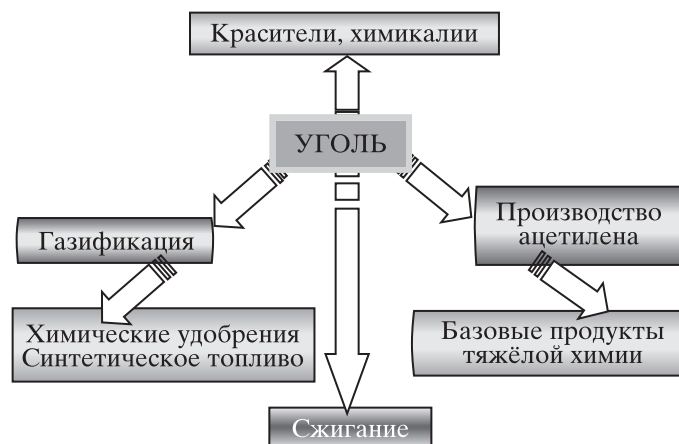


Рис. 1. Уголь в химии и топливной индустрии

XX в. начинался как век угля и углехимии (рис. 1). Даже в середине века плановые органы отдавали предпочтение углю перед газом или нефтью, несмотря на бурное развитие автомобильного и других видов транспорта, потребляющих продукты переработки нефти. В 1940-х годах ещё встречались автомобили, снабжённые газогенераторами. Тем не менее и нефть, и газ активно внедрялись в энергетику. Так, в 1946 г. был успешно осуществлён первый крупномасштабный опыт по газификации такого мегаполиса, как Москва. Стали очевидны многие преимущества природного газа перед углём: добыча – в 12 раз дешевле, транспортировка – в 8 раз дешевле, производительность труда при добыче – в 20–22 раза выше, нет проблем с вывозом золы, ниже уровень загрязнения окружающей среды. И всё же слова “Уголь – хлеб промышленности” были взяты 60 лет назад в качестве девиза первой послевоенной пятилетки. Это было обусловлено тем, что главные потребители энергии – металлургия и химическая промышленность, – всё ещё ориентировались на уголь как энергоноситель и главный сырьевой ресурс.

Потребовались время и средства для создания инфраструктуры газовой промышленности, разработки новых месторождений. В этот же период получило мощный импульс развитие нефтепереработки, возникла и стала бурно развиваться нефтехимия.

Угольный сектор в производстве энергии всё ещё весьма значим. С органическими топливами уголь связывает ветка, включающая в себя его газификацию и синтез Фишера-Тропша (рис. 2). На угле через синтез Фишера-Тропша базируется производство моторных топлив в Южно-Африканской Республике. Несмотря на то что этому подходу к органическим топливам присущ ряд недостатков – высокий уровень эмиссии углекислоты (на каждое звено CH_2 углеводородной цепочки по стехиометрии выделяется молекула CO_2), высокая капиталоемкость, высокая энергоёмкость, – во многих странах этот способ рассматривается как чуть ли не единственный путь от угля или природного газа к привычному моторному топливу [3].

Многие задачи, относящиеся к будущему угольной отрасли, по-прежнему находятся на листе ожидания:

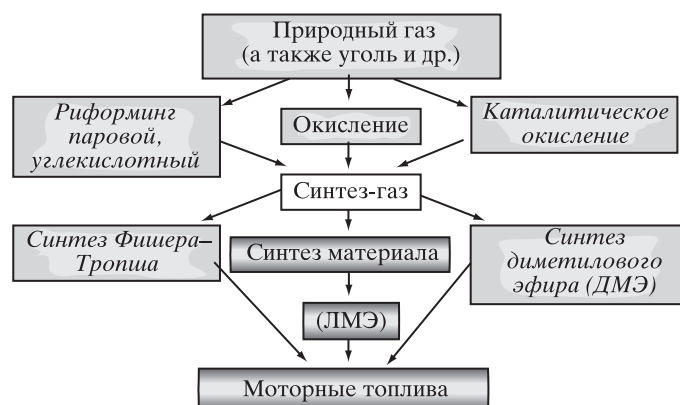


Рис. 2. Органические топлива из природного газа

1. Нужны исследования, направленные на поиски новых методов производства ацетилена на базе угля. Существующий метод избыточно энергоёмок и вызывает справедливые нарекания экологов.

2. Придётся вернуться к исследованиям в области каталитической химии ацетилена, найти новые более эффективные катализаторы и новые промышленные пути использования ацетилена.

3. Необходим поиск новых решений для процессов газификации угля: производства на его основе синтез-газа или ацетилена.

4. Нужны новые катализаторы для селективного восстановления оксида углерода (важнейшее звено, связывающее уголь с химической промышленностью). Эти катализаторы должны позволить получать по выбору с высоким выходом низшие алкены (сырьё для большой химии) или высшие алканы (моторное топливо).

5. Одним из наиболее существенных факторов, ограничивающих широкое использование угля в энергетике, является экология. Непосредственное сжигание угля ведёт к колоссальным выбросам в атмосферу ионов тяжёлых металлов (ртуть, кобальт, цинк), что для современного общества неприемлемо. Требуются качественно новые решения очистки газовых выбросов угольных тепловых электростанций. В развитых странах эта проблема находится в стадии практического решения.

Разумеется, уголь не может быть полноценным эквивалентом нефти или газа в качестве источника сырья для производства всего многообразия химической продукции. Не нужно быть пророком, чтобы предсказать весьма существенный рост цен на все полимерные материалы, красители, средства гигиены, лекарственные вещества после перехода к углю как единственному или даже преимущественному сырьевому источнику.

ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

Расчёты показывают, что после ожидаемого истощения разведанных и рентабельных для эксплуатации источников нефти в течение длительного времени можно будет использовать не только уголь, но и природный газ – в качестве носителя энергии и источника сырья для современной химической

промышленности. Действительно, природный газ и его главный компонент метан технологически гораздо легче (экономичнее), чем уголь, вписываются в современную технологию базовых продуктов тяжёлой химии. Перерабатывая метан, уже сегодня получают аммиак и большую часть известных удобрений. Метан можно использовать как моторное топливо без какой-либо химической переработки. Химики ИНХС им. А.В. Топчиева РАН разработали способ превращения метана в традиционный высокооктановый бензин [4].

Наиболее энергоёмкой стадией этого многостадийного способа является производство синтез-газа. Удалось показать, что вместо дорогого кислорода можно использовать воздух. Полученный в этой стадии разбавленный азотом (“забалластированный”) синтез-газ можно успешно превратить в метанол и диметиловый эфир. Оба эти продукта могут служить не только в качестве моторного топлива, но и сырья для производства высокооктанового бензина. Расходные коэффициенты по метану в этом способе превращения природного газа в моторное топливо чуть выше, чем в ветви, базирующейся на процессе Фишера-Тропша. Тем не менее есть одно важное преимущество: в процессе Фишера-Тропша получают преимущественно дизельное топливо, а через диметиловый эфир можно получить высокооктановый бензин.

Имеются предпосылки, позволяющие ожидать в ближайшем будущем появления высокорентабельных методов получения на базе метана не только дизельных топлив, но и низших алкенов (этилена и пропилена), из которых производят около 70% продукции всей современной нефтехимии.

ТВЁРДЫЕ БЫТОВЫЕ ОТХОДЫ И ДРЕВЕСИНА

Мировое производство полиэтилена достигло уровня 100 млн т/год. Это высокомолекулярное соединение практически не подвергается биоразложению. Химики трудятся над поисками рентабельных методов деполимеризации полиэтилена и полипропилена, модификации этих высокомолекулярных соединений, позволяющей придавать им способность разлагаться под действием природных факторов. Однако до широкого практического освоения результатов лабораторных поисков пока далеко.

Сегодня твёрдые бытовые отходы, включающие в себя все полимерные материалы, не поддающиеся переработке, а также древесина рассматриваются как важный энергетический ресурс, прежде всего больших городов.

Почти половина населения мира использует дрова для отопления своих хозяйств (возобновляемая биомасса). В Париже около 80% потребляемой энергии производится за счёт сжигания отходов города. Специальные меры по стимулированию производства энергии из городских отходов приняты в Голландии. В США работает более 1000 энергетических объектов, использующих в качестве топлива древесину и обеспечивающих электроэнергией заводы и посёлки. Солому и подстилку для домашней птицы будут сжигать на электростанциях Великобритании, мощность одной из них достигнет 36 МВт. В США разводятся плантации гибридных тополей и ив, дающих прирост до 5 м в год. Доля древесины в энергетическом балансе США может достичь к 2015 г. 15%.

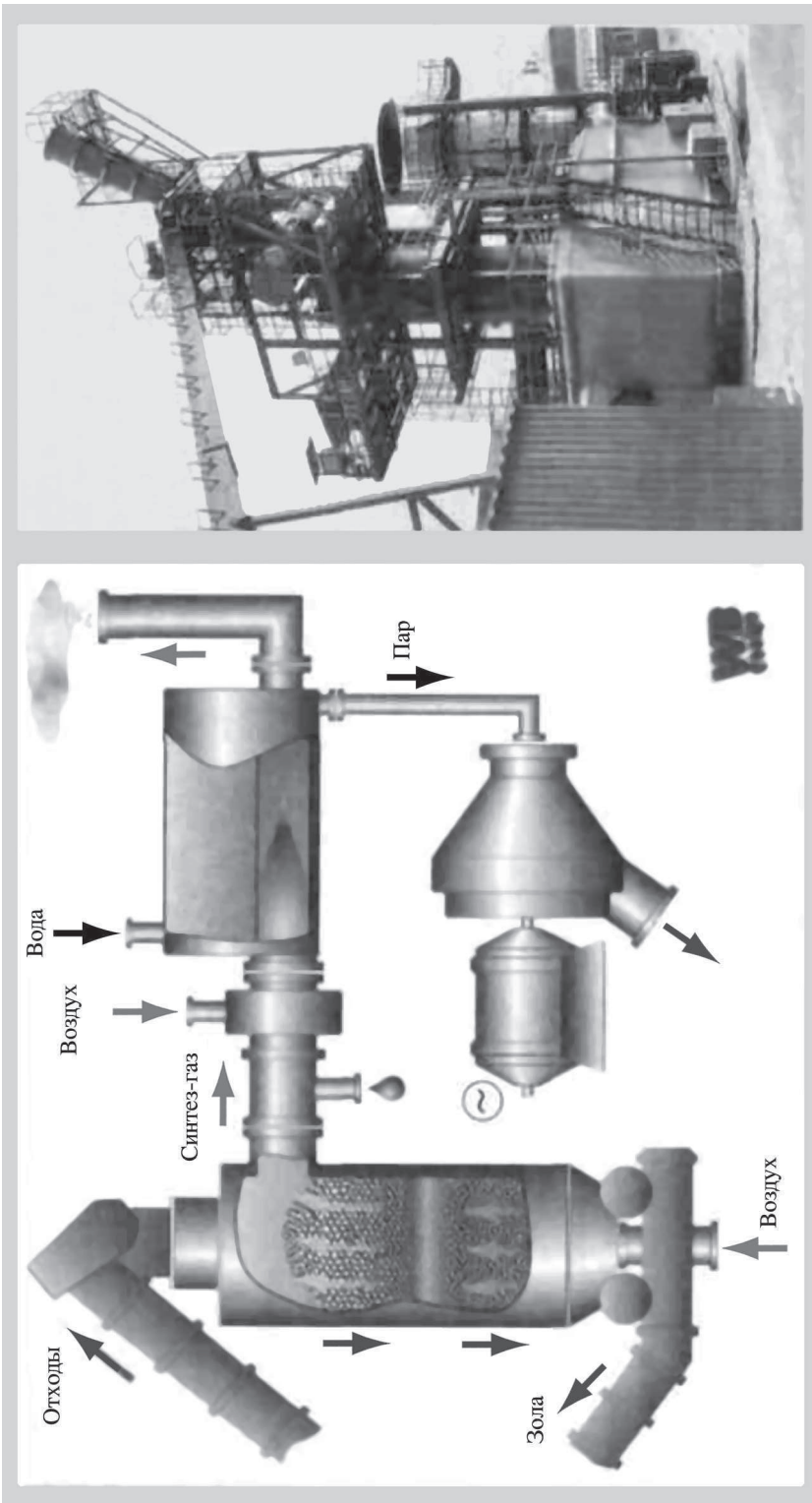


Рис. 3. Термохимическая конверсия и сжигание возобновляемого сырья

Возобновляемые ресурсы – важный резерв мировой энергетики

	Доля энергоносителя, %			
	1974	1984	1990	1999
Нефть	15	42	40	36
Уголь	28	27	17	23
Природный газ	18	19	20	22
Ядерная энергия	6	7	7	7
Возобновляемые источники	3	5	6	12
Общий объем, кВт · ч/10 ¹²	67.5	82.6	95.2	100.7

Недавно Институт проблем химической физики РАН продемонстрировал установку (рис. 3), сооружённую на одном из авиационных заводов, которая позволяет подвергать газификации в режиме сверхадиабатического горения твёрдые топлива и отходы с зольностью до 90% и влажностью до 60%. Энергетический коэффициент полезного действия достигает 95%.

Фирма Changing World Technologies (“Технологии изменяющегося мира”, США) предлагает очень привлекательную технологию превращения любых отходов цивилизации методом “термической деполимеризации” в нефть и газ. Новая технологическая идея апробирована на экспериментальной (в Филадельфии), а затем полупромышленной (в штате Миссури) установках. Речь идёт фактически об осуществлении в режиме реального времени естественных термических процессов, лежавших в основе превращения органического материала в нефть и газ. Предложенная технология позволяет получать из городских бытовых отходов нефть с КПД, близким к 85%. Наибольший выход нефти (40–74%) достигается при переработке пластмасс, биомассы и биоматериалов (включая отстой канализационных вод), тяжёлых нефтепродуктов, получаемых в виде отходов современной переработки нефти, отработавших автомобильных шин и медицинских материалов, в том числе и тех, что содержат вредные вещества. В разработку и реализацию технологии частные инвесторы вложили 40 млн долл. К финансированию развития технологии подключилась федеральная власть, вложив в проект 12 млн долл. В упомянутую первую промышленную установку в штате Миссури вложено 20 млн долл. Головная промышленная установка оценочно будет производить нефть по 15 долл. за баррель. В течение трёх-пяти лет эта цифра снизится, как ожидается, до 10 долл. за баррель. В среднем технология будет обеспечивать производство высококачественной нефти при затратах 8–12 долл. за баррель. Поскольку производство может быть максимально приближено к местам потребления конечной продукции, расходы на транспортировку сведутся к минимуму, что обеспечит значительно меньшую цену на нефть, чем нынешние цены на мировом нефтяном рынке [5].

БИОМАССА

Содержание биомассы в биосфере измеряется гигантской цифрой – 800 млрд т. Ежегодно возобновляется 200 млрд т. Для сравнения заметим, что количество потребляемого бензина и дизельного топлива в нашей стране – это величина порядка 30 млн т, а объём продуктов питания, потребляемый ежегодно населением страны, – 50–70 млн т.

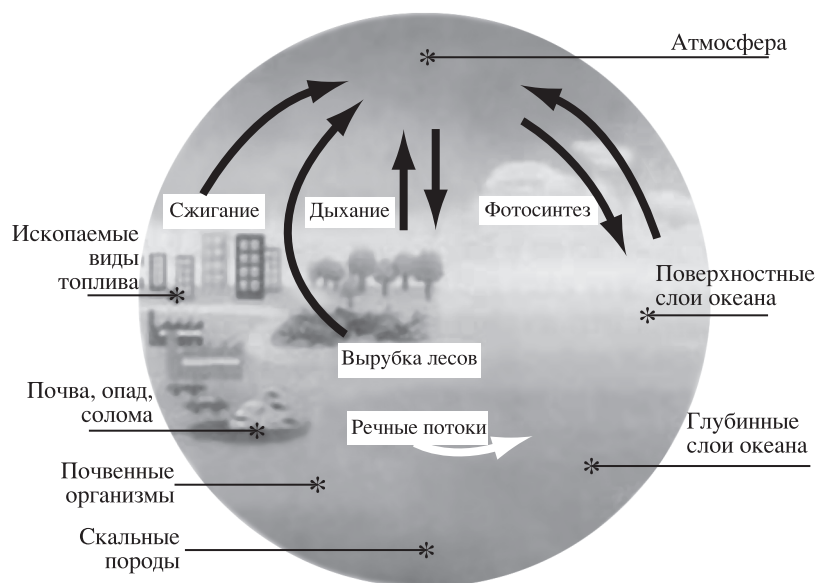


Рис. 4. Круговорот углекислоты

Данные, представленные в таблице [6], на наш взгляд, весьма красноречиво свидетельствуют об изменениях в структуре энергоресурсов, произошедших за последнюю четверть XX в. На фоне общего роста энергопотребления доля нефти монотонно снижалась начиная с 1974 г. Это – следствие не столько объективных факторов, сколько не всегда обдуманных действий стран ОПЕК. Место нефти постепенно занимают как природный газ и уголь, так и возобновляемые ресурсы. Начиная с 1999 г. строка “возобновляемые ресурсы” неизменно сопровождается дополнением “в том числе биомасса”. К биоресурсам приковано внимание не только учёных, но и предпринимателей, занимающихся развитием энергетики. Любопытно, что работа по превращению “всего на свете в нефть” была инициирована сотрудниками индусшачьей фермы, перед которыми стояла задача утилизации отходов.

Возобновляемое растительное сырьё может стать важным ресурсом для химической индустрии и топливной промышленности. Когда химики и энергетики используют нефть, газ или уголь в качестве сырья или исходных энергоносителей, они потребляют материалы, возникшие благодаря фотосинтезу и запасённые природой миллионы лет назад. Почти всё полученное человеком из нефти и газа рано или поздно сгорит или биодеструктирует и внесёт свой вклад в загрязнение атмосферы углекислотой (рис. 4). Использование биотоплив – реальная борьба с парниковым эффектом. Оценки показывают, что использование 5% биотоплив способно уменьшить выбросы CO_2 в атмосферу более чем на 1%.

Маршрут, основанный на использовании возобновляемого сырья, по своему конечному результату в общем не отличается от упомянутого выше. Разница лишь в том, что методы, базирующиеся на нефти, газе и угле, возвращают в атмосферу ту углекислоту, которая была депонирована многие миллионы лет назад. Возобновляемое же растительное сырьё, хотя и пре-

вратится в углекислоту, но по дороге к неизбежному “углекислотному” концу выполнит какую-то полезную функцию. Примечательно, что Киотский протокол выводит за рамки международных соглашений биотоплива, получаемые конверсией биомассы, поскольку биомасса является продуктом фотосинтетического восстановления двуокиси углерода.

Человечество уже располагает опытом крупномасштабного использования возобновляемого сырья для своих нужд. Ежегодно на кухнях наших квартир и предприятий общественного питания перерабатываются миллионы тонн растительного сырья, мяса и рыбы для обеспечения людей питанием. В 30-х годах в России и чуть позже в США возникла, благодаря С.В. Лебедеву и И.И. Остромысленскому, промышленность синтетического каучука из этанола, который получали ферментацией крахмала картофеля (с деталями технологии знакомы все, кто в конце 80-х годов обходил сухой закон). Оказалось, что одной десятой посевных площадей страны, отводимых для производства картофеля, достаточно для удовлетворения нужд страны в синтетическом каучуке. Источником натурального каучука, как известно, являются растения типа гевеи. Известны также другие “нефтеносные” растения, продуцирующие латекс. Этим свойством обладают семейства молочайных, тутовых, ваточниковых (ластовневых), маковых, сложноцветных.

В плодах нефтяного дерева, молочая, растущего на Филиппинах, содержится почти чистая нефть, не содержащая ни серы, ни других экологически вредных веществ. Свежесорванный орех этого дерева воспламеняется от спички [2].

Можно упомянуть также дерево, растущее во влажных лесах Амазонии, – копайбу из семейства бобовых (рис. 5). Копайба, для разведения которой на плантациях требуются обильные дождевые осадки, достигает почти 30 м



Рис. 5. Копайба

высоты и имеет ствол до одного метра в диаметре. Из надрезов на стволе можно получать жидкость, богатую углеводородами; из одиночного надреза за два часа её может насочиться от 10 до 20 л. Состав этого “сока” настолько близок к дизельному топливу, что его можно прямо заливать в бак грузовика – воспламенение от сжатия в дизеле происходит нормально.

Большинство известных нефтеносов – растения тропических и субтропических регионов со средней температурой 22–25 °С. Таким образом, мы возвращаемся к проблеме, с которой столкнулась наша страна в начале 20-х годов, когда выяснилось, что каучуконосы на полях средней полосы не произрастают. Большие перспективы практического применения имеют масляные культуры, например, рапс.

БИОДИЗЕЛЬ (ДРЕВЕСИНА И РАПС)

21% лесных ресурсов мира расположен в России. Для энергетических плантаций в безлесных районах созданы быстрорастущие сорта тополя и ивы с урожайностью 15 т сухой массы с га, которую можно переработать в 10 т жидкого топлива. По данным академика РАСХН директора ВИЭСХ Д.С. Стребкова и начальника Управления научно-технического прогресса Минэнерго РФ П.П. Безруких, за последние 10 лет в России не обрабатываются 30 млн га пашни. С этой территории можно получить 300 млн т жидкого топлива, что, как считают авторы, обеспечит все российские электростанции и автотранспорт, использующие жидкие топливо и газ. Собственник земли, выращивающий энергетические плантации, может стать владельцем собственной бензоколонки с биодизельным топливом. Дизельные электростанции, использующие биомассу в качестве топлива, имеют нулевые выбросы серы и экологически чисты, поскольку их баланс по диоксиду углерода равен нулю. Таким способом уже сегодня можно сэкономить внушительные объёмы ископаемого углеводородного топлива [7].

Другим потенциальным источником дизельного топлива является рапс. Испытания рапсового масла в качестве топлива для автомобиля “Фольксваген” в Германии показало высокую экономичность этого вида топлива (4–5 л топлива на 100 км пробега). Литр бензина стоит 1 долл., а масло – 0.5 долл. В Германии действуют 15 масляных автозаправок.

Для развития биотопливной индустрии в Европе имеются значительные резервы. Эксперты Европейской комиссии оценивают 25% сельскохозяйственных площадей Европы как убыточные для производства продуктов питания. Это соответствует общему объёму резервов в 30 млн га.

Более двух третей посевов рапса сосредоточены в Индии, Китае, Канаде. Стремительно возрождается рапсоводство на европейском континенте: посевы достигают 4 млн га, а средняя урожайность – 24–26 ц/га. Рапс в почёте во Франции, Великобритании, Чехии, Дании, Финляндии, Польше [8].

Рапсовый клин в мире составляет 22–24 млн га. По удельному весу в общемировом производстве масличных эта культура вышла на третье место после сои и хлопка, опередив подсолнечник, поскольку производительность рапса 1100 кг масла/га, по сравнению с 290 – соевого и 600 кг – подсолнечного [8].

“Рапс – культура XXI века” – так называется книга, выпущенная недавно в Казани [9]. Автор книги – агроном, и его интерес к предмету понятен: возделывание рапса рентабельно при урожае 10 ц/га. Этот уровень уже достигнут, ставится задача получить до 35 ц/га. Рапс улучшает свойства почвы и очень удачно встраивается в севооборот. Шрот, получаемый после экстракции масла сверхкритической углекислотой, – высококачественный корм для скота. В книге есть статья выдающегося организатора и нефтехимика, генерального директора ОАО “Татнефтехиминвест-холдинга” Р.С. Яруллина, посвященная деталям технологии производства из рапса метиловых эфиров высших жирных ненасыщенных кислот, которые и являются высококачественным экологически дружественным дизельным топливом. Республика ставит задачу строительства специализированного маслоэкстракционного завода для переработки 300 000 т рапса в год.

Интерес к возобновляемому сырью в Республике Татарстан поддерживается руководством республики, утвердившим программу, предусматривающую резкое (почти в 2.5 раза) увеличение посевных площадей под рапсом.

В Великобритании площади земель, на которых выращивается рапс, увеличились со 100 тыс. га до 1.5 млн га к 2004–2005 гг. Гектар рапсового поля дает 3 т растительного масла, из которого получают тонну дизельного топлива. В Австрии биодизельное топливо уже сейчас составляет 3% общего рынка дизельного топлива. Соизмеримые по объёму количества производятся во Франции и в Италии. По данным Petroleum Review, Западная Европа уже сейчас производит порядка 700 тыс. т/год дизельного топлива растительного происхождения. К 2010 г. эта цифра вырастет до 8.3 млн т/год [2]. Примерно 20% обычного дизельного топлива планируют заместить на биодизельное в США и использовать его на морских судах, городских автобусах и грузовых автомобилях. В производство растительного топлива быстро включились крупнейшие промышленные компании, такие как Cargill Inc. (США) и Lurgi AG. Это очень быстро растущий рынок.

БИОГАЗ

Одно из старейших направлений получения топлива из возобновляемого сырья – переработка методами ферментации бытовых отходов, отходов птице- и животноводства, завершающаяся получением биогаза.

Биогаз в США занимает среди биотоплив второе место по важности. Недавно в этой стране принят закон об оборудовании всех без исключения полигонов твёрдых бытовых отходов системами конверсии отходов в смесь метана и CO_2 с последующей их энергетической утилизацией.

В 1999 г. в Германии функционировало более 600 биогазовых установок, она занимает первое место в Европе по использованию биогаза. Оценки показывают, что биогазовая технология способна обеспечивать до 15% энергетики Германии. В Швеции функционируют 779 автобусов на биогазе, тысячи бинарных легковых машин, потребляющих как бензин, так и биогаз. Шведская компания Svensk Biogas создала первый в мире поезд на биогазе, пробег поезда на одной заправке 600 км, максимальная скорость 130 км/ч.

В настоящее время в Европе функционирует более 800 биоэнергетических комплексов, к 2010 г. в странах ЕС за счёт применения биометана планируется получить дополнительной энергии около 15 млн т нефтяного эквивалента.

Лидером в развитии биогазовой промышленности является Китай. Здесь с середины 70-х годов действует Национальная программа по получению биогаза из отходов животноводства, в середине 80-х годов действовало 10 млн фермерских биореакторов, производящих ежегодно 1.3 млрд м³ биогаза. Кроме того, в Китае работает 40 тыс. биогазовых станций, 24 тыс. очистительных сооружений, производящих биогаз, что обеспечивает работу 190 электростанций и свыше 60% автобусного парка страны. Это особенно ценно для сельских местностей (80% автомобильного парка сельского хозяйства). Китай является экспортером биогаза и двигателей на его основе.

В Подмоскowie (г. Мытищи) строится демонстрационный полигон, который обеспечит электроэнергией и теплом 100 000 домовладений. В городах Мытищи и Серпухов смонтированы модули по производству биогаза и преобразованию его в электрическую и тепловую энергию. Переработка 500 млн т биоотходов, которые ежегодно производятся в странах СНГ (отходы городского хозяйства и промышленности, осадки сточных вод, отходы животноводства и птицеводства), позволила бы получить 150 млн т условного топлива.

Метановое брожение с получением биогаза – наиболее эффективный путь анаэробной биологической конверсии органических отходов в топливо. Преимуществом этого метода являются относительная простота и экономичность технологии. При полном разложении углеводов смешанными культурами микроорганизмов с образованием метана в газе сохраняется до 85% энергии, которая могла бы быть получена при сгорании исходного субстрата. Метаногенные бактерии в консорциуме с другими бактериями способны превращать в метан отходы сельскохозяйственного и пищевого производств (лактат), навоз, солому, производить очистку коммунальных сточных вод, переработку отходов пищевой, хлопковой, льняной, текстильной, деревообрабатывающей промышленности, трансформировать торф в биогаз. Стабильное производство биогаза в природных условиях захоронений органических отходов длится несколько лет, в первые месяцы которых происходит переработка кислорода, содержащегося в толще органической массы, и развитие анаэробного метаногенного сообщества. В промышленных условиях этот процесс может быть сокращён до двух-трех месяцев. Процесс метанообразования осуществляется сложным симбиотрофным метаногенным консорциумом микроорганизмов. Химико-кинетический подход позволил достаточно подробно изучить природу протекающих при метаногенезе химических ферментативных реакций и создать адекватную модель процесса [10].

Состав биогаза в общем постоянен и варьирует в следующих интервалах: CO₂ ~ 20–40% об, CH₄ ~ 80–20%, H₂ ~ 1%, плюс примеси: H₂S, NH₃, N₂ и т.д.

Классическими методами разделять биогаз экономически невыгодно вследствие его низкого давления (1.5 атм). В ИНХС им. А.В. Топчиева РАН предложен метод, сочетающий в себе возможности абсорбционного и мембранного разделения. Процесс осуществляется в мембранном контак-

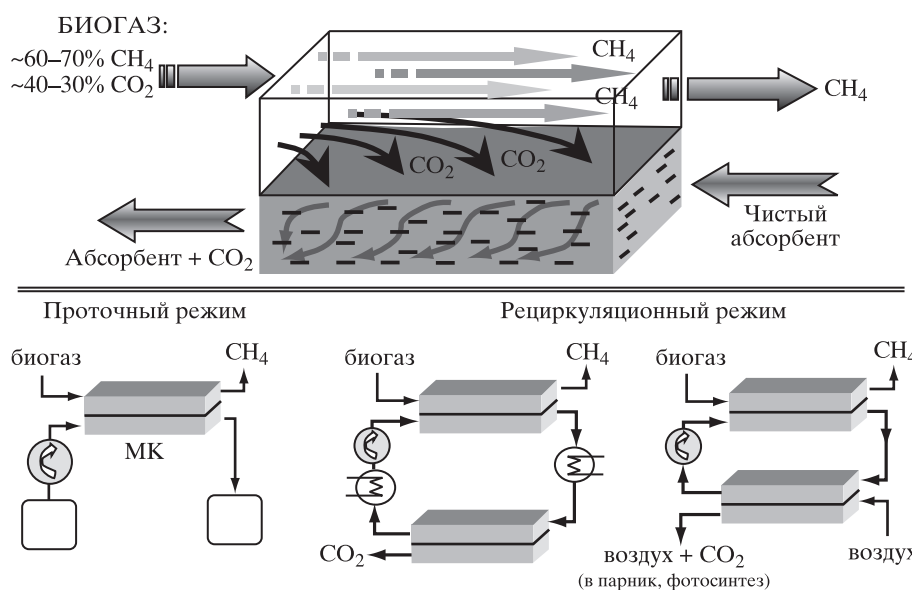


Рис. 6. Разделение биогаза с помощью активных мембранных систем (мембранных контакторов)

торе (МК), представляющем собой устройство, разделённое на газовую и жидкостную части полимерной мембраной, наиболее проницаемой по удаляемому компоненту (рис. 6). Биогаз поступает в газовое пространство. Наиболее легкопроницающий компонент (CO_2) проходит через мембрану и, поглощаясь химическим или физическим абсорбентом, выносится вместе с ним из абсорбционного модуля. Абсорбент подбирается так, чтобы разница растворимостей разделяемых газов или скорость реакции извлекаемого и поглощающего компонентов была максимальной (оптимальной). В МК движущей силой является градиент химического потенциала (в частности, градиент концентрации извлекаемого компонента), поддерживающийся только за счёт движения жидкого носителя (не требуется применения компрессора).

Мембранный контактор может работать как в проточном, так и в рециркуляционном режимах. Во втором случае насыщенный компонентом абсорбент направляется на регенерацию в десорбционный модуль (либо аналогичный абсорбционному, либо используемый в химической технологии), в котором при нагревании (или сдувке) происходит дегазация. Газ, проникающий через мембрану, откачивается или отбирается инертным к абсорбенту газом, после чего жидкий носитель охлаждается и регенерированный направляется обратно в абсорбер, а отобранный компонент (CO_2) может использоваться по назначению в химической или пищевой промышленности.

Конструктивно-мембранные контакторы могут быть решены в виде плоскостных (кассетных), дисковых, трубчатых, половолоконных и рулонных модулей.

В целом разработанные в ИНХС им. А.В. Топчиева РАН пилотные мембранные модули обеспечивают переработку биогаза с разделением на инди-

видуальные компоненты (CO_2 и CH_4) технической чистоты производительностью до $50 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Принципиальной особенностью процесса метанообразования в анаэробных условиях является рецикл минеральной компоненты биомассы, прежде всего фосфора. После удаления 80–90% углерода в виде биогаза остаток представляет собой высокоэффективное, сбалансированное и высоковостремованное минеральное удобрение. Как известно, современное мировое сельскохозяйственное производство лимитировано фосфорными удобрениями.

ЭТАНОЛ

Ресурсы биотопливной индустрии определяются эффективностью хозяйствования и продуктивностью сельскохозяйственных растений. Развиваемые технологические процессы, ориентированные на использование широкого спектра лигноцеллюлозного и гемицеллюлозного сырья, сделают мировую биотопливную промышленность нелимитированной по ресурсу. Это обеспечит условия, при которых основным источником топлива станет биотопливная индустрия. С учётом развития других возобновляемых источников энергии (сила ветра, приливов, солнечных тепловых и электрических преобразователей, геотермальной энергии) в ближайшие 10–20 лет конъюнктура на энергетическом рынке качественно изменится. Это может привести к существенному изменению потребности и цен на природные источники углеводородов – нефть и газ.

Не менее 95% этанола в наши дни получают из растительного сырья. Метод гидратации этилена практически не имеет будущего. Добавки этанола (до 26% в бензин и до 3% в дизельное топливо) широко применяются для двигателей автомобилей. Использование этанола приводит к повышению октанового числа.

Лидерами в производстве топливного этанола являются Бразилия и США. В 1975 г. в Бразилии стартовала Национальная спиртовая программа, в результате которой производство технического спирта выросло с 500 млн л (1975) до 13 млрд л в год (1986) [11]. В настоящее время Бразилия является крупнейшим в мире производителем и экспортером спирта. Экспорт промышленного спирта из Бразилии в 2004 г. увеличился более чем на 400%.

В США в последние годы создаётся мощная индустрия производства топливного этанола. В 2004 г. в 20 штатах функционировал 81 завод по производству этилового спирта с общим производством 3.4 млрд галлонов (12.9 млрд л) спирта, что на 21% больше, чем в 2003 г. Для этого было использовано 11% годового производства зерна. В 2004 г. было запущено 12 новых заводов, в стадии запуска находилось еще 16 заводов мощностью 750 млн галлонов этанола.

В 2004 г. спрос на топливный этанол в США составил рекордные 3.57 млрд галлонов (13.51 млрд л) и продолжает неуклонно расти. Доля этанола в общем объёме продажи топлива уже в настоящее время достигает 14%, что является весьма значительным вкладом в независимое энергообеспечение страны. Президент Буш 8 августа 2005 г. подписал закон об энергетике, со-

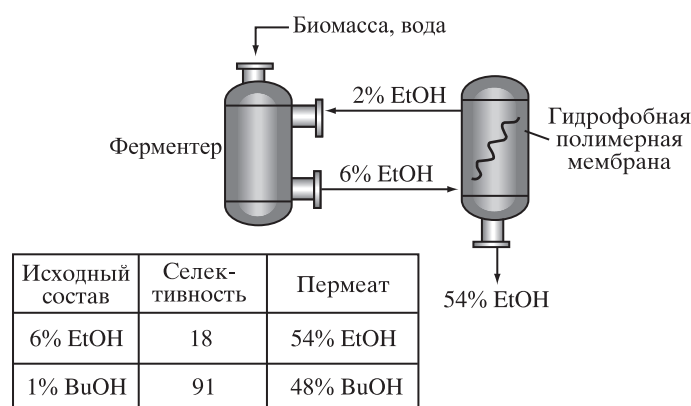


Рис. 7. Переапарация: удаление спирта из браги с помощью мембраны вместо ректификации

гласно которому для сокращения импорта нефти к 2012 г. необходимо увеличить производство биоэтанола еще на 8 млрд галлонов (30 млн т) в год.

В Китае имеется своя собственная программа перехода на возобновляемое топливо. С учётом того, что на 1 т этанола уходят 3.2 т зерна, стоимость китайского этанола составляет 484 долл. за т при цене бензина 490 долл. за т. Планируется в 2006 г. производить в стране 1.2 млн т этанола, в 2008 – 1.5 млн т.

Помимо этанола, из биомассы можно получать путём ферментации бутанол, изопропанол, некоторые другие спирты и фенол.

Простейшая схема превращения биомассы в этанол заключается в том, что лигноцеллюзная биомасса вначале превращается в сахара (глюкозу, ксилозу), которые далее в процессах ферментации превращаются в этанол, двуокись углерода и ряд побочных продуктов. В идеальном случае из 1 моль глюкозы можно получить 2 моль этанола.

Процесс ферментации тормозится образующимся спиртом. Все известные на сегодня микроорганизмы, включая стандартные пекарские дрожжи, перестают работать при концентрации этанола 5–8%. Ингибирующее действие бутанола на микроорганизмы наступает уже при концентрации выше 1%, что требует непрерывного удаления спиртов из реакционной массы. Традиционно эта операция осуществляется путём дистилляции, стоимость которой повышает себестоимость продукции. Выход предлагают селективные по спирту мембраны, позволяющие с минимальными энергозатратами удалять из реактора спирт в режиме так называемого переапарационного мембранного биореактора. Это позволяет реализовать процесс непрерывной экстрактивной ферментации и минимизировать ингибирующее действие этанола и бутанола, повысить производительность реактора, снизить энергозатраты на последующее концентрирование обогащенного по этанолу или бутанолу пермеата (рис. 7).

Разработанные в ИНХС РАН и запатентованные в 2005 г. мембраны из нанопористого гидрофобного полимерного стекла – политриметилсилпропина и полидиметилсилметилена – позволяют концентрировать этанол из водных сред в одну ступень с 6 до 54% и бутанол – с 1% до 48%. Мем-

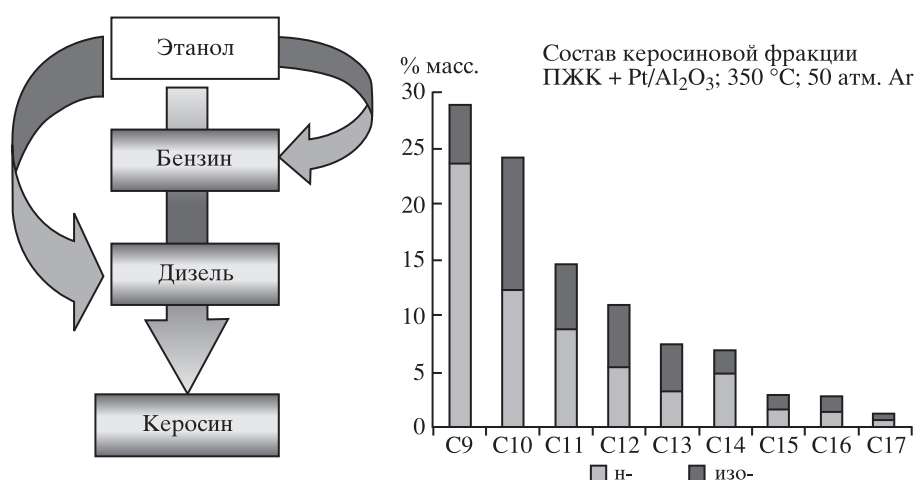


Рис. 8. Новый путь к топливу – восстановительная дегидратация спиртов

браны прошли многомесячные лабораторные испытания в режиме перепарационного мембранного биореактора, проявив самую высокую селективность по бутанолу и устойчивость к загрязнению побочными продуктами ферментации.

Биомасса может стать также сырьём для производства разных видов топлив – от автомобильного до авиационного. Учёные Института нефтехимического синтеза РАН и ИОНХ РАН обнаружили недавно новую реакцию. Оказалось, что этанол способен превращаться как в смесь алканов (преимущественно изостроения, то есть высокооктановые компоненты моторных топлив), так и, в зависимости от режима и состава катализатора, – в смесь углеводородов с неразветвлённой углеродной цепочкой (имитация керосина) (рис. 8).

Для реакции не требуется спирт высокой чистоты. Наоборот, чем больше сивушных масел, тем выше выход полезных для решения данной задачи продуктов. Конечный продукт – например, фактически готовое моторное топливо, – легко отделяется от воды. Теплота сгорания конечного продукта выше, чем теплота сгорания исходного сырья. Превращение спирта в моторное топливо сопровождается выделением тепла, которое может быть использовано в производстве. Другими словами, коэффициент полезного действия процесса превращения спирта в бензин близок к 85%!

Для получения углеводородного топлива достаточен сравнительно дешёвый технический спирт, можно использовать любое сырьё растительного происхождения. Спирт может содержать до 20% воды. Не следует забывать, что обычно основные энергозатраты на разделение смеси спирт/вода связаны с удалением последних 15% воды и очисткой спирта от сивушных масел.

Химическая индустрия – энергоёмкая отрасль промышленности, по объёму потребляемой энергии уступающая только металлургии. В 1989 г. в Советском Союзе более 15% всей произведённой энергии пошло на нужды производств химического профиля.

Сегодня на химические нужды в западном мире тратится только 6% производимой энергии. Таким образом, энергетические расходные коэффициенты в передовых странах и в нашей стране разнятся в 2–2.5 раза. Для преодоления разрыва потребуются усилия инженеров-технологов, проектировщиков и научных работников. Наряду с поисками путей рационализации технологических схем, машин и аппаратов химической промышленности, нужны радикальные пути по рекуперации энергии, более широкого использования процессов, производящих не только химическую продукцию, но и энергию.

Современные пути получения органических биотоплив, альтернативных нефти и природному газу, многообразны. Технологии конверсии угля, твёрдых бытовых отходов, биомассы создают разнообразие возможностей и способны обеспечить устойчивое развитие химико-технологических и энергетических отраслей промышленности. Качественно новые возможности связаны со становлением и развитием биотопливной индустрии.

Установочная мощность заводов, предназначенных для производства биотоплива (биогаз, биодизель, соякеросин, кокосодизель, рапсобензин) только в Европе достигает сотен тысяч т в год. Считают, что в 2010 г. около 7% топлива там будет “зелёным”. В топливном лексиконе стали привычны термины “биоэтанол”, “биогаз”, “биодизельное топливо” и др. Следует отметить возрастающую роль новейших научно-технологических решений, таких как разделение продуктов производства биогаза и биоэтанола, способных качественно изменить технологический облик процессов.

Пять–семь лет назад идея об использовании возобновляемого сырья в нашей стране вызывала скептицизм. Сегодня для всех очевидно, что старт в гонке за лучшие методы использования возобновляемого сырья как в энергетике, так и в химической индустрии уже дан. Важно не оказаться на обочине и не остаться в числе аутсайдеров.

Авторы выражают искреннюю благодарность за помощь при подготовке доклада академику Л.Н. Андрееву и профессору Б.Н. Головкину (Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН), профессору В.О. Попову (ИНБИ им. А.Н. Баха РАН), члену-корреспонденту РАН Э.П. Волкову (ЭНИН им. Г.М. Кржижановского), сотрудникам ИНХС им. А.В. Топчиева РАН и ИОНХ им. Н.С. Курнакова РАН.

Литература

1. Блохин А.И., Стельмах Г.П., Иорудас А.А. Горючие сланцы для энергетики и химии России. Электронный журнал “Новое в Российской энергетике”. Март 2001. С. 8–15.
2. Голицын М.В., Голицын А.М., Пронина Н.М. Альтернативные энергоносители. М.: Наука, 2004.
3. Брагинский О.Б. Мировая нефтехимическая промышленность. М.: Наука, 2003.
4. Розовский А.Я. Диметиловый эфир и бензин из природного газа // Журн. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева. 2003. № 6.
5. Lemley B. Anything into oil // DISCOVER. V. 24. № 5. 2003.
6. Wassermel K., Aape H.-J. Industrial Organic Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH, 2003. P. 491.
7. Информация с официального сайта Комитета Государственной думы по природным ресурсам и природопользованию.

8. Чопенко В. Рапсовый “двигатель” // Международный общественно-политический еженедельник “Зеркало недели”. 2004. 11–17 сентября.
9. Левин И.Ф. Рапс – культура XXI века. Казань: Экспресс-плюс, 2005. С. 186.
10. Варфоломеев С.Д., Калюжный С.В. Биотехнология. Кинетические методы в микробиологических исследованиях. М.: Высшая школа, 1992.
11. Zanin G.M., Santaha C.C. et al. Brazilian biotechnol programme // Appl. Biochem. Biotechnol. 2001. V. 84–86. P. 1147.

ФОТОСИНТЕЗ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

*Академик В.П. Скулачёв
и академик В.А. Шувалов*

Из всех доступных источников энергии на Земле только солнечная и немногие другие находятся в строгом энергетическом и экологическом балансе, позволяя жизни на планете развиваться в течение миллиардов лет. Сжигание нефти, газа, угля, получение атомной и термоядерной энергии нарушает этот баланс. Уменьшение содержания кислорода и увеличение концентрации CO_2 , появление отравляющих веществ приводят к губительным процессам в биосфере.

Значительная часть солнечной энергии поглощается растительным покровом, который обеспечивает её превращение в энергию химических связей биологических веществ. Это и является основным поступлением энергии в биосферу, за счёт чего создаются условия для жизни на Земле. Однако растения поглощают не всю солнечную энергию. В Африке приблизительно 30%, а в Азии 15% территории составляют пустыни. Заполярным кругом преобладают арктические пустыни и тундры. Общая площадь таких поверхностей составляет около 23% поверхности суши, или примерно 7% общей поверхности Земли. Мощность солнечного потока, поступающего на такое пространство суши, – около 1.5×10^7 ГВт. Использование всей этой энергии при КПД ~60% равносильно запуску миллиона электростанций по 1 ГВт каждая. При этом никаких экологических проблем не возникает.

На последних сессиях Общего собрания РАН много говорилось о наноструктурах и нанотехнологиях. Вместе с тем истинные наноструктуры были отобраны самой природой для осуществления энергетических процессов в живой клетке. Архитектоника и изящество таких структур, при их невероятно высокой эффективности, поражают воображение. Квантовая эффективность преобразования энергии поглощённого света в энергию разделённых зарядов достигает 100% при фотосинтезе с КПД около 60%. Вероятно, мы стоим на пороге новой эры, когда принципы организации живых наноструктур будут широко использоваться в современных технологиях, особенно в энергетике.

Молекулярная энергетика подразумевает энергетические процессы, происходящие в клетках человека, животных и растений. Главные из этих процессов сосредоточены в липидных мембранах митохондрий и хлоропластов и были отобраны в ходе эволюции миллиарды лет назад. Молекулярная энергетика включает два основных процесса: использование энергии света при фотосинтезе в хлоропластах с разложением воды и выделением кислорода, с образованием АТФ и восстановленного НАДФН, необходимых для ассими-

ляции CO_2 и образования сахаров; использование восстановленного НАДН и сукцината для окисления кислородом в митохондриях с целью получения дополнительного количества АТФ.

Хлоропласты и митохондрии являются клеточными органеллами размера порядка 1–2 мкм и включают в себя мембранные структуры, внутри которых находятся энергопреобразующие белковые комплексы. Для многих из этих комплексов проведён рентгеноструктурный анализ, созданы модели расположения атомов в названных структурах. В митохондриях содержатся четыре комплекса, три из которых ответственны за окисление НАДН и сопряжённое восстановление Со-энзима Q (комплекс 1), окисление сукцината и восстановление Со-энзима Q (комплекс 2), окисление Со-энзима QH_2 и восстановление цитохрома с (Fe^{3+}) (комплекс 3); и терминальная цитохром-оксидоза, восстанавливающая кислород до воды за счёт окисления цитохрома с (Fe^{2+}) (комплекс 4). Образующийся в результате этих окислительно-восстановительных процессов градиент протонов по обе стороны мембраны используется далее для синтеза АТФ в АТФ-синтазе. В хлоропластах идут аналогичные процессы, но зачастую в обратном порядке: за счёт энергии света вода разлагается с выделением кислорода, которым мы дышим, НАДФ^+ восстанавливается до НАДФН, при этом АТФ синтезируется также за счёт градиента протонов в АТФ-синтазе. Далее НАДФН и АТФ используются для синтеза сахаров, белков, липидов и т.д.

Особый интерес представляет преобразование энергии света – процесс, обеспечивающий поступление энергии в биосферу и жизнь на нашей планете. Он осуществляется в хлорофилл-белковых наноструктурах хлоропластов с квантовой эффективностью около 100%.

Хлорофилл-белковый комплекс, ответственный за преобразование поглощённой энергии света в энергию разделённых зарядов, называется реакционным центром (РЦ) и включает в себя три белковые субъединицы (L, M, H), две из которых имеют по пять α -спиральных трансмембранных участков (L, M) и определяют пространственную структуру комплекса [1,2] (рис. 1, левый и правый фрагменты). В области трансмембранных α -спиралей находятся четыре молекулы хлорофилла и две – феофитина, между которыми разыгрывается процесс первичного разделения зарядов. Две молекулы хлорофилла образуют димер – первичный донор электрона (P), тогда как лежащий рядом мономер хлорофилла служит первичным акцептором электрона (B_A). Одна из молекул феофитина (H_A) служит в качестве промежуточного акцептора электрона между B_A и первичным хиноном (Q_A), который выполняет роль терминального акцептора электрона в РЦ, в свою очередь передающем электрон на молекулу хинона Q_B . Были измерены скорости переноса электрона, они составили при комнатной температуре: 3 пс между P^* и B_A , 1 пс между B_A и H_A , 200 пс между H_A и Q_A и около 100 мкс между первичным и вторичным хинонами (Q_A и Q_B) [3–35] (рис. 1, правый фрагмент).

Так как рентгеноструктурный анализ РЦ был выполнен с разрешением около 2.5 Å, положение всех атомов (около 10000) известно с точностью до долей ангстрема. На рисунке 2 приведено взаимное расположение четырёх молекул хлорофилла в РЦ, которые обеспечивают первичное преобразование энергии возбуждения в энергию разделённых зарядов. Энергия возбуждения после её переноса от светособирающего хлорофилл-белкового комплекса и

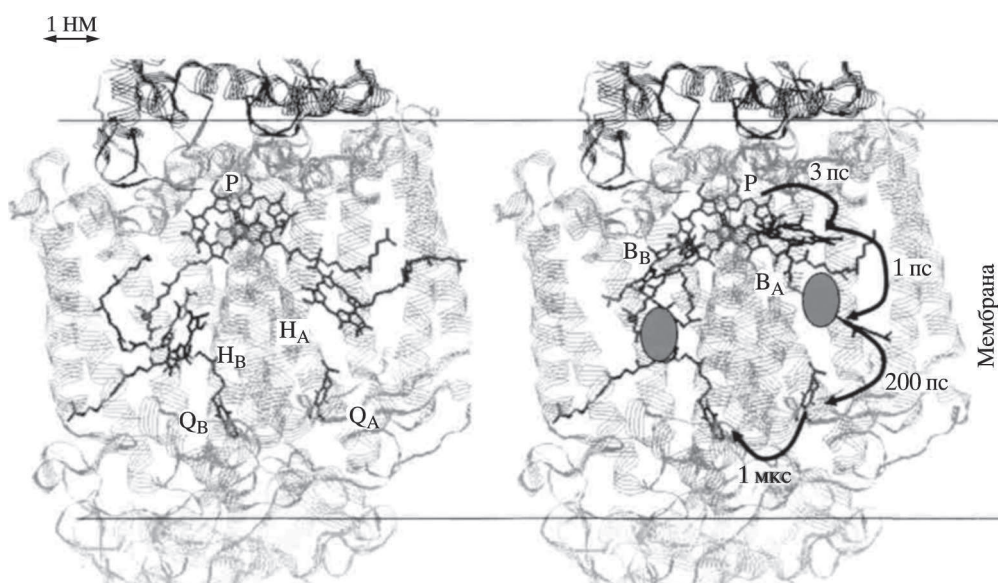


Рис. 1. Рентгеноструктурная модель реакционного центра (РЦ) бактерий *Rb. sphaeroides*, во многом схожая со структурой РЦ фотосистемы 2 зеленых растений (левый и правый фрагменты)

Р — димер (бактерио)хлорофилла. В — мономер (бактерио)хлорофилла. Н — (бактерио)феофитин, Q — убикинон. Две цепи хромофоров А и В из которых лишь одна А активна в переносе электрона. Правый фрагмент показывает временные константы переноса электрона между конфакторами РЦ: молекулы Н представлены в виде овалов

пигментов РЦ локализуется на первичном доноре Р, состоящем из двух половин — P_A и P_B . Центральный атом магния в обеих молекулах лигандируется аксиальными гистидинами, показанными на рисунке. Гистидин молекулы P_B образует также молекулярный мостик с участием молекулы воды НОН55, соединяющий его с кислородом карбонильной группы молекулы первичного акцептора V_A . Эта молекулярная цепь, как показано далее, используется для переноса электрона между P^* и V_A .

При изучении процесса преобразования энергии света в реакционных центрах фотосинтеза применяются три основных метода: направленный мутагенез в хлорофилл-белковых комплексах с помощью генно-инженерного изменения последовательности ДНК, кодирующей эти структуры; химическая модификация хлорофилла, входящего в данную структуру, и фемтосекундная спектроскопия процессов преобразования энергии света в РЦ.

Направленный мутагенез и химическая модификация хлорофилла и феофитина дают возможность управлять процессом разделения зарядов в РЦ. Фемтосекундная спектроскопия — основной метод изучения последовательности и временных констант преобразования энергии возбуждения в энергию разделённых зарядов различных состояний в РЦ. Этот процесс, как было показано, является процессом переноса электрона от P^* на V_A и далее на H_A , сопряжённого с движением ядерной подсистемы (рис. 3).

Фемтосекундное (около 15 фс) возбуждение электрона в Р приводит к тому, что при переходе электрона из основного в возбуждённое состояние в молекуле Р ядерная конфигурация основного состояния не успевает изме-

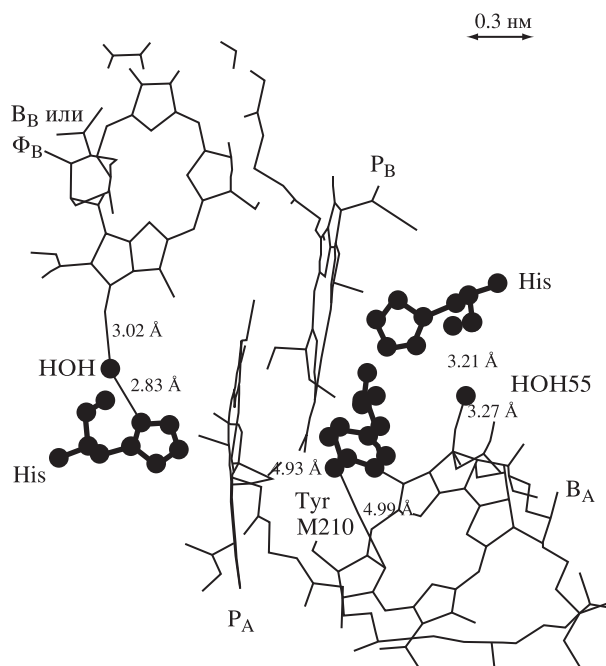


Рис. 2. Расположение молекул (бактерио)хлорофилла в бактериальных РЦ

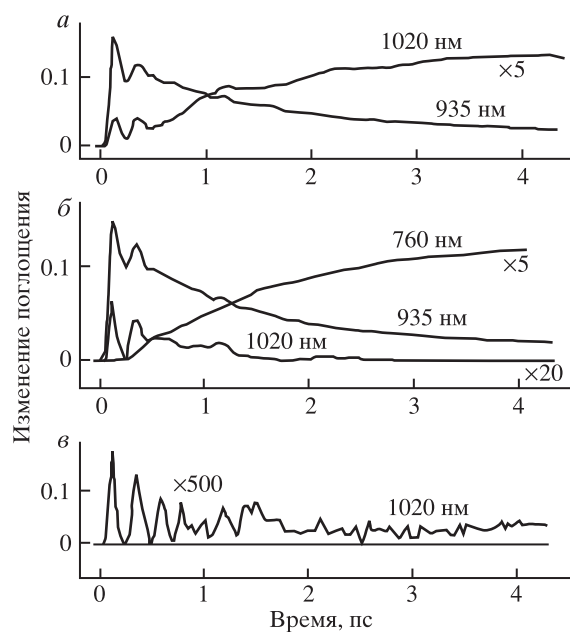


Рис. 3. Фемтосекундные кинетики для фео-модифицированных (а), нативных (б) и мутантных (в) РЦ *Rb. sphaeroides* при 90 К. Измерения при 935 нм отражают кинетики затухания стимулированного излучения (флуоресценции) Р*, при 1020 нм – возникновение полосы анион-радикала В_А, при 760 нм – выцветание полосы при восстановлении Н_А

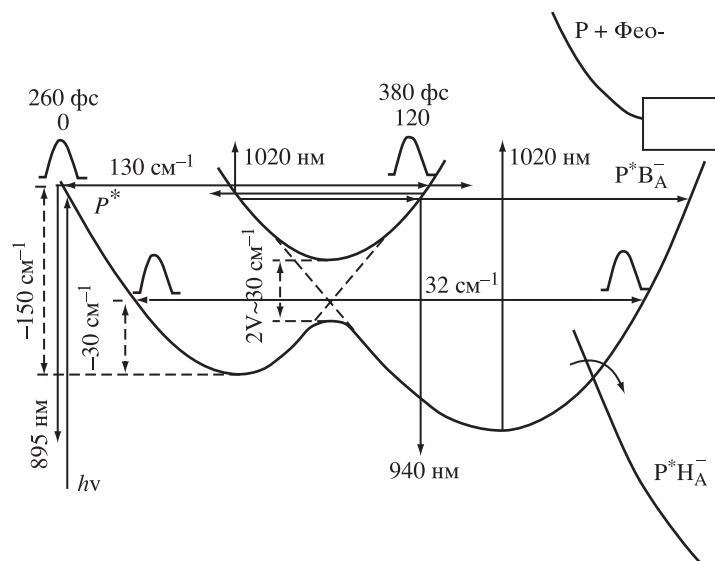


Рис. 4. Срез поверхностей потенциальной энергии для состояния P^* и продукта реакции $P^+B_A^-$. Излучение при 895 нм и 940 нм отражают флуоресценции P на противоположных сторонах поверхности потенциальной энергии. Поглощение при 1020 нм отражает возникающую полосу B_A

ниться за столь короткое время (рис. 4). Лишь далее ядра движутся в сторону минимума потенциальной поверхности возбуждённого состояния. Не останавливаясь на нём, ядерная конфигурация продолжает движение на другой стороне потенциальной поверхности в силу очень короткого времени (около 120 фс), за которое избыточная энергия не успевает уйти в термостат. Другая характерная особенность этого движения заключается в том, что оно выявляет те моды ядерных колебаний и вращений с определёнными частотами, которые сопряжены с переносом электрона по цепи пигментов.

Для движения ядер выявлены две характерные моды – с частотой 130–150 см^{-1} и 32 см^{-1} (рис. 5). Они также видны в спектрах выжигания провалов. Однако идентификация мод стала возможной при одновременном использовании направленного мутагенеза и фемтосекундной спектроскопии [36]. Мода с частотой 32 см^{-1} обращает на себя внимание своей низкой частотой, а также наличием более высоких гармоник при 64, 96, 128, 160, 192 и 224 см^{-1} . Всё это характерно скорее для вращательной моды, чем для колебательной. Из рисунка 2 видно, что вращению с такой частотой может подвергаться только молекула воды в положении 55. Для проверки этого предположения была проведена мутация в положении М203, в которой молекулу глицина заменили на молекулу лейцина. Рентгеноструктурный анализ мутанта продемонстрировал, что в этом случае вода НОН55 вытесняется из своего локуса под действием стерического фактора, связанного с большей протяженностью молекулы лейцина (рис. 6). Результаты фемтосекундных измерений показали, что мода с частотой 32 см^{-1} и её гармониками уходит из спектра осцилляции, а скорость стабилизации разделённых зарядов уменьшается в 4 раза. Таким образом, вероятно, молекула воды НОН55 участвует

в переносе электрона от P^* на B_A , однако детальный механизм этого участия до конца не ясен. Похоже, что электрон преимущественно движется по молекулярной цепи, обсуждавшейся ранее: $Mg(P_B)-N-N(His)-NOH55-0(B_A)$.

Как было показано впервые американскими авторами, особую роль в реакции переноса электрона от P^* на B_A играет тирозин в положении M210 (см. рис. 2). При замене его на триптофан или лейцин скорость стабилизации разделённых зарядов уменьшается на два порядка при низкой температуре (см. рис. 3). Для объяснения такого эффекта есть два предположения. Одно связано с тем, что при замене тирозина M210 происходит увеличение энергии состояния P^+B_A по сравнению с P^* ; другое – с тем, что ОН-группа тирозина прямым образом участвует в стабилизации состояния P^+B_A за счёт смещения её протона в сторону молекулы B_A , на которой локализуется электрон. Для проверки обоих предположений был создан мутант, в котором, кроме тирозина в положении M210, был заменён гистидин в положении L168, образующий водородную связь с кислородом молекулы P_A , тем самым существенно смещая в положительную область окислительно-восстановительный потенциал P^+ (~120 мВ). Было найдено, что такая дополнительная мутация не приводит к восстановлению скорости стабилизации состояния P^+B_A , то есть

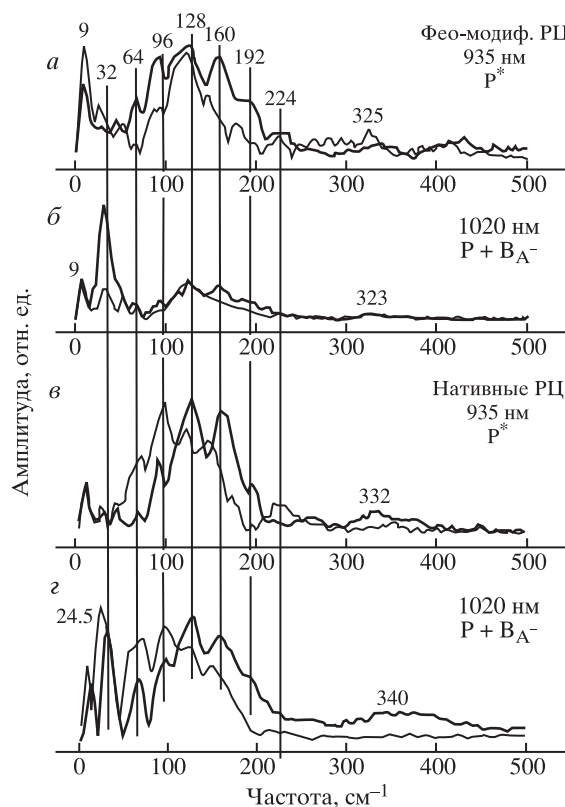


Рис. 5. Преобразование Фурье для осциллирующей части кинетик при 935 нм (излучение P^*) и при 1020 нм (поглощение B_A)

a, б – фео-модифицированные РЦ, *в, з* – нативные РЦ

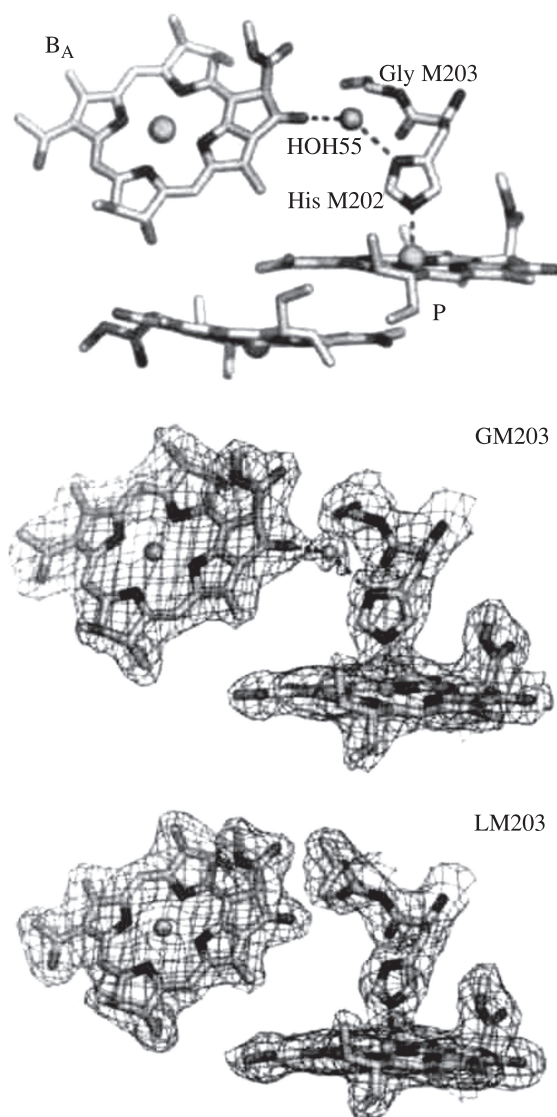


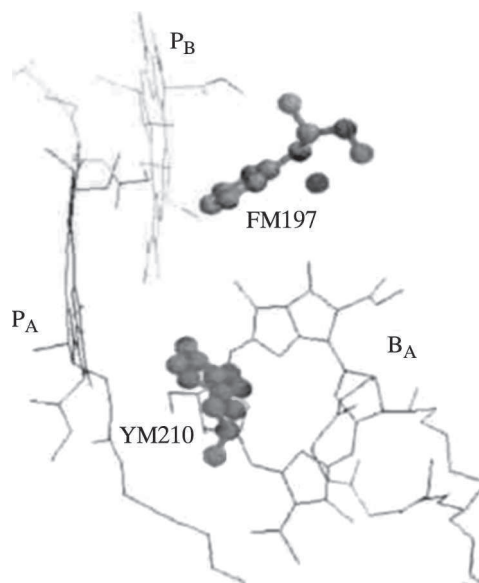
Рис. 6. Карта электронной плотности в районе молекулы воды HOH55 для нативных РЦ (GM203) и для мутанта (LM203), для которого глицин в положении M203 был заменен на лейцин

только наличие ОН-группы имеет существенное влияние на стабилизацию разделённых зарядов.

Существенный момент для понимания механизма разделения зарядов в РЦ – выяснение природы моды с частотой около $130\text{--}150\text{ см}^{-1}$ (период около 260 фс). Возможно, что эта мода связана с движением молекул хлорофилла внутри димера Р. Для выяснения вопроса мы провели замену фенилаланина в положении M197 на тирозин (рис. 7). Согласно имеющимся данным, в таком мутанте происходит образование водородной связи между ОН-группой тирозина и кислородом молекулы Р_в. В результате эффективная масса молекулы хлорофилла Р_в в районе первого пиррольного кольца увеличивается. Фемтосекундные измерения показали, что в таком мутанте частота колебаний в районе $130\text{--}150\text{ см}^{-1}$ сдвигается на

50 см^{-1} в сторону более низких частот, как и положено при увеличении эффективной массы группы, участвующей в процессе колебаний. Аналогичное образование водородной связи со стороны молекулы Р_а не приводило к изменению частот колебаний. Таким образом, данные результаты указывают на то, что первичным процессом, приводящим к разделению зарядов, является процесс движения двух молекул хлорофилла относительно друг друга в димере. Сближение молекул приводит к перераспределению электронной плотности между ними в сторону её увеличения на молекуле Р_в, что вызывает частичный перенос электрона на молекулу В_а с образованием полосы при 1020 нм, характерной для анион-радикала В_а. При этом сдвигается также излучение Р* от 895 до 940 нм (см. рис. 4), что тоже характерно для сдвига электронной плотности в димере Р. Указанный процесс строго обратим,

Рис. 7. Расположение P_A , P_B , фенилаланина FM197 и тирозина YM210 в нативных РЦ *Rb. sphaeroides*



если в системе нет группы, которая принимает участие в стабилизации разделённых зарядов. Такой группой, вероятно, является ОН-группа молекулы тирозина M210 в нативных РЦ (см. рис. 7).

Подводя итог рассмотрения структуры и функции энергопреобразующих белковых комплексов, необходимо подчеркнуть следующее:

- все трансмембранные белки-преобразователи энергии занимают в пространстве от 10 до 100 нм;
- активные хромофоры, гемы, железосерные кластеры и хлорофилл имеют в диаметре около 1 нм; около 100 атомов, входящих в структуру активного центра, обеспечивают высокоэффективное преобразование энергии, недостижимое в современной энергетике;
- белковые наноструктуры можно рассматривать в качестве прообраза систем энергетики будущего.

В настоящее время в России и США делаются успешные попытки создать химические модели реакционных центров фотосинтеза.

Литература

1. Deisenhofer J., Epp O., Miki K. et al. // J. Mol. Biol. 1984. V. 180. P. 385–398.
2. Allen J.P., Feher G., Yeates T.O. et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 1987. V. 84. P. 5730–5734.
3. Kirmaier C., Holten D. In The Photosynthetic Reaction Center / Eds. Deisenhofer J., Norris J. // San Diego: Academic Press, 1993.
4. Woodbury N.W., Allen J.P. In Anoxygenic Photosynthetic Bacteria / Eds. Blankenship R.E., Madigan M.T., Bauer C.E. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1995.
5. Shuvalov V.A., Yakovlev A.G. // FEBS Lett. 2003. V. 540. P. 26–34.
6. Shuvalov V.A., Klevanik A.V., Sharkov A.V. et al. // FEBS Lett. 1978. V. 91. P. 135–139.
7. Lauterwasser C., Finkle U., Scheer H., Zinth W. // Chem. Phys. Lett. 1991. V. 183. P. 471–477.
8. Arlt T., Schmidt S., Kaiser W. et al. // W. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1993. V. 90. P. 11757–11761.
9. Shkuropatov A.Ya., Shuvalov V.A. // FEBS Lett. 1993. V. 322. P. 168–172.
10. Schmidt S., Arlt T., Hamm P. et al. // Chem. Phys. Lett. 1994. V. 223. P. 116–120.
11. Schmidt S., Arlt T., Hamm P. et al. // Spectrochim. Acta. Part A. 1995. V. 51. P. 1565–1578.
12. Arlt T., Dohse B., Schmidt S. et al. // Biochemistry. 1996. V. 35. P. 9235–9244.
13. Kennis J.T.M., Shkuropatov A.Ya., van Stokkum I.H.M. et al. // Biochemistry. 1997. V. 36. P. 16231–16238.
14. Sporlein S., Zinth W., Wachtveitl J. // J. Phys. Chem. B. 1998. V. 102. P. 7492–7496.
15. Sporlein S., Zinth W., Meyer M. et al. // J. Chem. Phys. Lett. 2000. V. 322. P. 454–464.
16. Marcus R.A. In The Photosynthetic Bacterial Reaction Center: Structure and Dynamics / Eds. Breton J., Vermeglio A. New York–London: Plenum Press, 1988. P. 389–398.

17. Heller B.A., Holten D., Kirmaier K. // *Science*. 1995. V. 269. P. 940–945.
18. Nagarajan V., Parson W.W., Davis D., Schenck C.C. // *Biochemistry*. 1993. V. 32. P. 12324–12336.
19. Bixon M., Jortner J., Michel-Beyerle M.E. // *Chem. Phys.* 1995. V. 197. P. 389–404.
20. Kirmaier C., Laporte L., Schenck C.C., Holten D. // *J. Phys. Chem.* 1995. V. 99. P. 8910–8917.
21. Shuvalov V.A., Yakovlev A.G. // *Membr. Cell Biol.* 1998. V. 12. P. 563–569.
22. Nowak F.R., Kennis J.T.M., Franken E.M. et al. // *In Photosynthesis: Mechanisms and Effects*. V. II / Ed. Garab G. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. P. 783–786.
23. Vos M.H., Lambry J.-C., Robles S.J. et al. // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1991. V. 88. P. 8885–8889.
24. Vos M.H., Rappaport F., Lambry J.-C. et al. // *Nature*. 1993. V. 363. P. 320–325.
25. Vos M.H., Jones M.R., Hunter C.N. et al. // *Biochemistry*. 1994. V. 33. P. 6750–6757.
26. Vos M.H., Jones M.R., Breton J. et al. // *Biochemistry*. 1996. V. 35. P. 2687–2692.
27. Stanley R.J., Boxer S.G. // *J. Phys. Chem.* 1995. V. 99. P. 859–863.
28. Sporlein S., Zinth W., Wachtveitl J. // *J. Phys. Chem. B*. 1998. V. 102. P. 7492–7496.
29. Streltsov A.M., Vulto S.I.E., Shkuropatov A.Ya. et al. // *J. Phys. Chem. B*. 1998. V. 102. P. 7293–7298.
30. Yakovlev A.G., Shkuropatov A.Ya., Shuvalov V.A. // *FEBS Lett.* 2000. V. 466. P. 209–212.
31. Yakovlev A.G., Shuvalov V.A. // *J. Chin. Chem. Soc.* 2000. V. 47. P. 709–714.
32. Yakovlev A.G., Shkuropatov A.Ya., Shuvalov V.A. // *Biochemistry*. 2002. V. 41. P. 2667–2674.
33. Yakovlev A.G., Shkuropatov A.Ya., Shuvalov V.A. // *Biochemistry*. 2002. V. 41. P. 14019–14027.
34. Drachev L.A., Konstantinov A.A., Semenov A.Yu. et al. // *Eur. J. Biochemistry*. 1988. V. 171. P. 253–264.
35. Скулачёв В.П. // *Энергетика биологических мембран*. М.: Наука, 1989.
36. Yakovlev A.G., Vasilieva L.G., Shkuropatov A.Ya. et al. // *J. Phys. Chem. A*. 2003. V. 107. P. 8330.

ПОСТАНОВЛЕНИЕ НАУЧНОЙ СЕССИИ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК “ЭНЕРГЕТИКА РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ”

Общее собрание Российской академии наук обсудило состояние, проблемы и перспективы развития энергетики России и отмечает, что в настоящее время академические и отраслевые научно-исследовательские институты, высшие учебные заведения, исследовательские центры энергетических компаний проводят исследования и разработки, направленные на обеспечение надёжного и эффективного удовлетворения растущих потребностей общества в энергии.

Усилиями предшествующих поколений учёных и специалистов в стране была создана передовая энергетическая наука и техника, позволившая обеспечить ускоренное развитие топливно-энергетического комплекса, ставшего базовой и ведущей отраслью отечественной экономики.

Вместе с тем кризисные явления переходного периода привели к нарастанию проблем в отечественной энергетике и к её многолетней стагнации. Возникло и обострилось опасное отставание ввода новых мощностей от возрастающих потребностей растущей экономики страны.

В энергетике интенсивно развиваются и нарастают опасные тенденции и нерешённые проблемы: истощение разведанных ресурсов; существенное отставание приростов разведанных запасов топлива от размеров его текущей

добычи; быстрое старение производственных фондов; недостаточное внимание к развитию “малой энергетики”; острая нехватка инвестиций в энергетике; энергорасточительность российской экономики, что ставит под угрозу энергобезопасность страны.

В силу разных причин существенно сокращены объёмы и темпы проводимых исследований, в стране остаются не востребованными многие достижения отечественной и мировой науки – основы новых технологий разведки, добычи и переработки энергетических ресурсов, производства, транспортировки и рационального использования потребителями видов энергии, а также эффективного функционирования и развития энергетики.

Общее собрание Академии наук считает, что развитие энергетики, включая проблемы обеспечения энергетической безопасности страны, должно являться стратегическим государственным приоритетом, для реализации которого необходимо разработать и осуществить широкий комплекс оперативных и долгосрочных технологических, научно-технических, экологических, нормативно-законодательных, экономических, организационно-хозяйственных и производственных мер.

Важнейшая задача сегодня – развивать и поддерживать новые направления фундаментальных научных исследований и разработок в области энергетики, наук о Земле, в смежных отраслях знаний, что потребует привлечения как государственных, так и частных источников финансирования.

Общее собрание Российской академии наук **постановляет:**

1. Российской академии наук выступить с инициативой разработки и реализации Национального проекта “Новая энергетика России”. Целью проекта должна стать разработка и поэтапная реализация общероссийской программы эффективной генерации и использования энергии в сочетании с развитием и техническим перевооружением на передовой научно-технической основе системы энергообеспечения страны с учётом требований рационального природопользования и охраны окружающей среды и предотвращения её загрязнения.

2. Считать тесное взаимодействие фундаментальной науки со структурами топливно-энергетического комплекса важнейшим фактором повышения энергетической безопасности страны. Считать целесообразным усиление финансовой поддержки энергетического направления со стороны Минобрнауки России.

Учитывая критическое состояние энергетики России, считать необходимым разработать на правительственном уровне антикризисную программу мероприятий по энергетической безопасности страны, включая её инвестиционное обеспечение.

Поставить вопрос перед Минпромэнерго России, Минприроды России, Росатомом, РАО “ЕЭС России” и другими энергетическими компаниями России об организации совместно с РАН комплексных научно-технических работ, направленных на решение конкретных проблем энергетической стратегии.

3. Считать целесообразным создание при Президиуме Российской академии наук Межведомственной рабочей группы по Национальному проекту “Новая энергетика России”. Президиуму РАН проработать вопрос о создании фонда “Наука – энергетике”.

4. Поручить Научно-издательскому совету РАН подготовить к публикации в виде отдельной книги материалы настоящей научной сессии Общего собрания Российской академии наук, а Федеральному государственному унитарному предприятию «Научно-производственное объединение “Издательство Наука”» РАН издать и распространить её широким тиражом.

5. Президиуму Российской академии наук:

- проинформировать Президента Российской Федерации В.В. Путина и Правительство Российской Федерации об итогах работы научной сессии РАН “Энергетика России: проблемы и перспективы” и предлагаемых РАН мероприятиях;
- разработать план мероприятий по выполнению настоящего постановления Общего собрания с учётом предложений, высказанных в ходе обсуждений докладов и дискуссий на заседаниях “круглых столов”.

*Президент
Российской академии наук
академик Ю.С. ОСИПОВ
Главный учёный секретарь
Президиума Российской академии наук
академик В.В. КОСТЮК*

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ
АКАДЕМИЙ, ИМЕЮЩИХ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАТУС**

**“Здоровье и образование детей –
основа устойчивого развития
российского общества и государства”**

5-6 октября 2006 года

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА Ю.С. ОСИПОВА

Уважаемые коллеги! Дорогие гости!

Впервые в истории отечественной науки, в жизни научной общественности проходит совместная Научная сессия всех академий, имеющих государственный статус. Это незаурядное событие.

Главными причинами этой встречи являются сложившаяся в стране неблагоприятная демографическая ситуация, кризисное положение с заболеваемостью детей, низкие показатели состояния их физического и психологического здоровья, тяжелое положение с системой образования подрастающего поколения.

Мы должны особо отметить инициативу руководства Российской академии медицинских наук, и прежде всего, президента РАМН академика Михаила Ивановича Давыдова, академика Михаила Александровича Пальцева и академика РАМН Александра Александровича Баранова, проявивших настойчивость и упорство, привлечших внимание руководства страны и академического сообщества к важнейшей государственной проблеме – охране здоровья детей и образования детей и подростков.

Многие из присутствующих на этой сессии помнят наших выдающихся ученых – академиков Бориса Васильевича Петровского, Александра Николаевича Бакулева, Николая Николаевича Блохина, Владимира Дмитриевича Тимакова, для которых лозунг “Все лучшее – детям” был делом первостепенной важности. Именно эти ученые проявили творческий подход к делу государственной важности, каким является забота о здоровье детей. К сожалению, в наши дни этот лозунг не подкрепляется должными усилиями.

На практике мы видим, что поколение детей и подростков вступает в зрелый возраст, обремененное различными заболеваниями. Мы недостаточно ответственно воспитываем новые поколения, начиная с дошкольных учреждений, школ и вузов, и когда в национальных проектах ставим задачу укрепления здоровья, то в значительной мере упускаем проблемы нравственного, патриотического, морально-этического и культурного воспитания. С нашей точки зрения, эта ситуация нуждается в соответствующей корректировке со стороны

Министерства здравоохранения и социального развития и Министерства образования и науки Российской Федерации.

Всем нам важно понимать, что здоровье и образование детей являются основой устойчивого развития российского общества и государства.

К сожалению, принятые по инициативе Президента страны национальные проекты “Здоровье” и “Образование” еще не вышли на практическое решение этой важнейшей социальной проблемы. В проекте “Образование” уделено внимание компьютеризации процесса обучения и его обеспечению современной аудио- и видеоаппаратурой, но, к сожалению, не рассматриваются проблемы нравственного воспитания, культуры, этики и эстетики. В проекте “Здоровье” недостаточно внимания уделяется проблеме детского здоровья, что неоднократно отмечали академик РАМН Александр Александрович Баранов и профессор Леонид Михайлович Рошаль.

Напомню, что четырнадцатая сессия Общего собрания Российской академии медицинских наук в декабре 2004 г. была посвящена научным основам охраны здоровья детей. На сессии было отмечено, что для коренного улучшения состояния здоровья детей необходимо комплексное решение наиболее актуальных вопросов детского здравоохранения с использованием новых биомедицинских технологий для профилактики, диагностики и лечения заболеваний с использованием современных клеточных технологий, опираясь на новые достижения в области экологии человека и гигиены окружающей среды, концепции здорового питания и профилактики инвалидности детей.

В решении демографических проблем важная роль принадлежит фундаментальной науке, что особенно ярко проявилось на совместной сессии Российской академии науки и Российской академии медицинских наук с участием ученых Российской академии сельскохозяйственных наук и Российской академии художеств, проведенной 16–19 декабря 2003 г., “Наука – здоровью человека”.

Настоящая совместная сессия представляет собой новый этап в научном обосновании современных подходов к укреплению здоровья подрастающего поколения россиян, профилактике заболеваний, обеспечению безопасных условий жизнедеятельности. Впервые широкий круг специалистов страны имеет возможность обсудить на этом компетентном форуме проблемы здоровья и образования детей в их связи с национальными приоритетными проектами.

Хотелось бы отметить, что в решении поставленных задач велика роль фундаментальных научных исследований, которые проводятся в различных институтах естественно-научного и гуманитарного профиля Российской академии наук, Российской академии медицинских наук и Российской академии образования. Решение этих задач не только позволит создать новые методы диагностики, терапии и профилактики заболеваний, но и будет иметь важные позитивные социально-экономические последствия.

Реализация государственной политики, направленной на повышение конкурентоспособности России в современном мире, во многом определяется благополучием детей, их развитием и успешной подготовкой к профессиональной деятельности.

Уважаемые коллеги!

Нам предстоит заслушать научные доклады президентов отраслевых академий, обратить внимание всего общества и руководства страны на указанные выше глобальные проблемы и, что самое главное, выработать согласованные решения наших академий, которые помогут исправлению неблагоприятной демографической ситуации в стране и будут способствовать улучшению здоровья и образования наших детей.

В нашей Научной сессии принимают участие государственные деятели, которым не безразлична судьба России и ее подрастающего поколения. Я благодарю их за внимание к этой важнейшей проблеме.

Желаю успеха в нашей совместной работе.

***Научные основы и научное сопровождение
развития в 2007 и последующих годах
национальных приоритетных проектов в сфере
здравоохранения, образования, сельского хозяйства
и обеспечения доступного жилья с целью
формирования здорового поколения россиян***

**ЗДОРОВЬЕ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ – СИСТЕМООБРАЗУЮЩИЙ
ФАКТОР ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ
В СФЕРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ И ОБРАЗОВАНИЯ,
НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ**

***Президент РАМН
академик РАН и РАМН М.И. Давыдов***

Следует согласиться с оценкой Президентом Российской Федерации В.В. Путиным демографической ситуации в стране и мерами, направленными на решение этой важнейшей проблемы, содержащимися в Послании Президента Российской Федерации Федеральному собранию Российской Федерации 2006 г. В послании подчеркивается, что проблему низкой рождаемости невозможно решать без изменения отношения всего общества к семье и ее ценностям, среди которых одно из основных мест принадлежит здоровью и образованию детей.

При этом в стране сохраняются негативные тенденции в динамике состоянии здоровья детей. Они характеризуются ростом заболеваемости, инвалидности, а также изменениями в показателях физического развития и физической подготовленности детей всех возрастных групп. По данным официальной статистической отчетности за период с 2000 по 2005 г. заболеваемость детей в возрасте до 14 лет увеличилась на 15%, а детей старшего подросткового возраста (15–17 лет) – на 18% (рис. 1).

Однако эти данные не в полной мере отражают истинную картину уровня заболеваемости детского населения. Результаты научных исследований, проводимых в Научном центре здоровья детей РАМН, убедительно свидетельствуют о том, что наиболее значительный рост частоты нарушений здоровья и развития среди детей происходит в школьном возрасте (рис. 2). За период школьного обучения распространенность функциональных нарушений увеличивается в 1,8 раза, хронических болезней – в 2 раза. В целом произошел рост заболеваемости как младших, так и старших школьников (рис. 3). Только за период с 2001 по 2005 г. суммарный показатель распространенности функциональных нарушений и хронических болезней среди учащихся начальной школы и старшеклассников увеличился в 1,5 раза. Отмечается

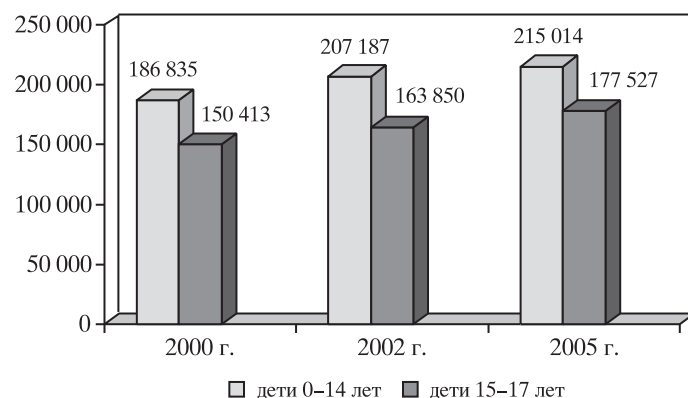


Рис. 1. Динамика заболеваемости детей (на 100 000 детей соответствующего возраста)

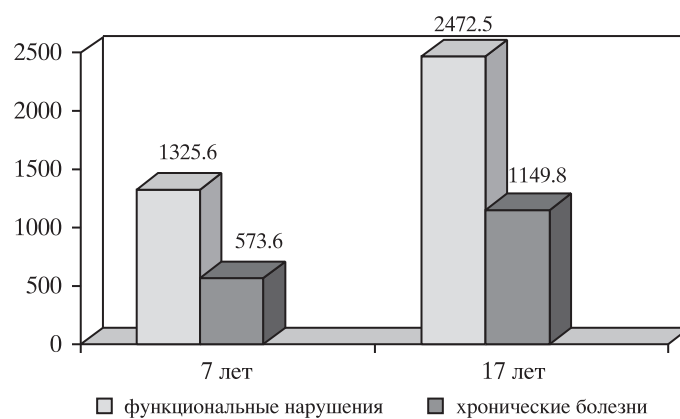


Рис. 2. Динамика частоты функциональных нарушений и хронических болезней в процессе обучения в школе (на 1000 детей соответствующего возраста)

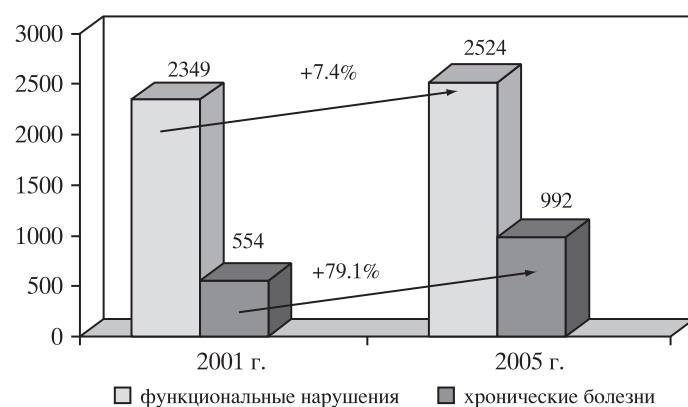


Рис. 3. Динамика частоты функциональных нарушений и хронических болезней среди учащихся младших классов (на 1000 детей соответствующего возраста)

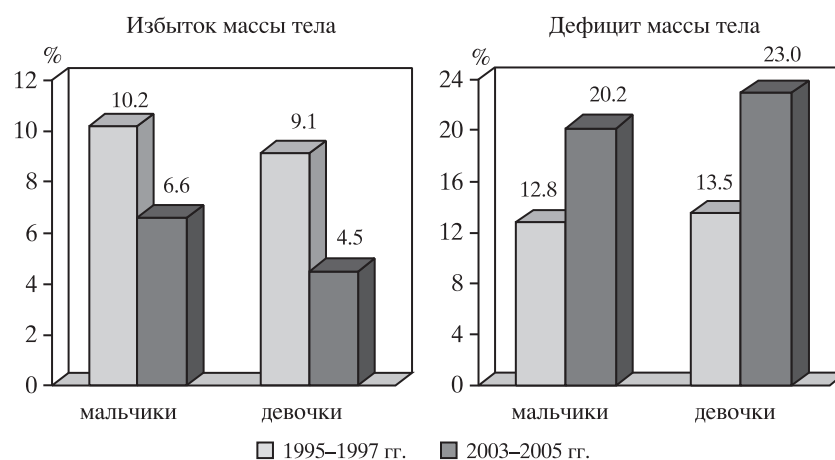


Рис. 4. Динамика распространенности основных отклонений в физическом развитии у подростков 15–17 лет

преимущественный рост хронической патологии, доля которой в структуре общей заболеваемости составляет в настоящее время более 30%. За последние 10 лет изменилась и структура заболеваемости. Среди учащихся младших классов вырос удельный вес невротических и вегетативных расстройств, патологии костно-мышечной системы и органов пищеварения, аллергических болезней. Ухудшилось физическое развитие учащихся начальной школы.

В структуре болезней, выявляемых среди учащихся старших классов, в настоящее время ведущие места занимают болезни органов пищеварения, удельный вес которых увеличился вдвое. В 4,5 раза увеличилась доля болезней нервной системы, значительно возросла частота патологии костно-мышечной системы. Обращает на себя внимание увеличение распространенности гинекологических болезней среди девочек подросткового возраста. Только за последние пять лет частота нарушений менструального цикла у девочек 10–14 лет возросла более чем на 50%, среди 15–17-летних – на 35%, а воспалительных заболеваний женских половых органов – на 7%.

При изучении основных показателей физического развития подростков установлено достоверное снижение темпов продольного роста, уменьшение широтных и обхватных размеров тела, “грацилизация” телосложения. Масса тела современных подростков значительно ниже, чем их сверстников в предыдущие годы (рис. 4). Отмечается снижение доли лиц с нормальным физическим развитием.

Уровень детской инвалидности является показателем как состояния здоровья детей, так и эффективности медицинской помощи (рис. 5). В настоящее время в стране 564 тыс. детей-инвалидов. Показатель инвалидности – 195 на 10 000 детского населения. Причины столь высокого уровня инвалидности у детей связаны с недостаточным качеством оказания населению медико-генетической помощи, с неэффективной дородовой диагностикой, недостаточным внедрением современных эффективных технологий выха-

Причины высокого уровня детской инвалидности

- Недостаточная эффективность пренатальной диагностики.
- Недостаточный уровень внедрения современных технологий выхаживания и реабилитации новорожденных.
- Низкий уровень оснащения педиатрических учреждений.
- Недостаточная сеть учреждений восстановительного лечения детей.
- Низкий уровень состояния здоровья родителей.

Рис. 5. Причины высокого уровня детской инвалидности

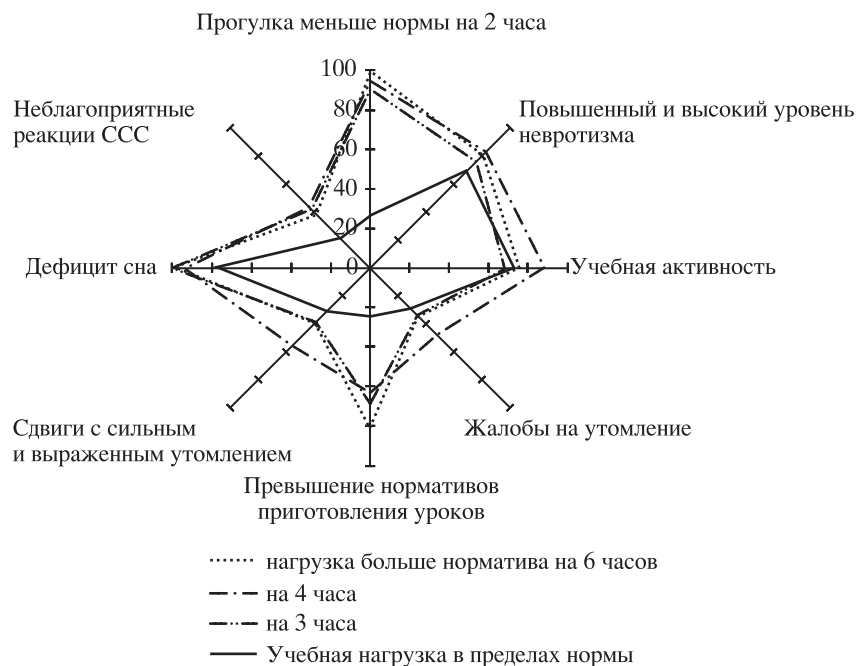


Рис. 6. Характеристика показателей функционального состояния организма и режима для младших школьников в зависимости от недельного объема учебной нагрузки

живания и реабилитации новорожденных, а также с недостаточной материально-технической базой педиатрических учреждений и слабым развитием сети учреждений для восстановительного лечения детей. Кроме того, нельзя забывать и о здоровье матери, формирование которого происходит в подростковом возрасте.

Медицинская наука располагает убедительными доказательствами того, что большая учебная нагрузка создает серьезные препятствия для реали-

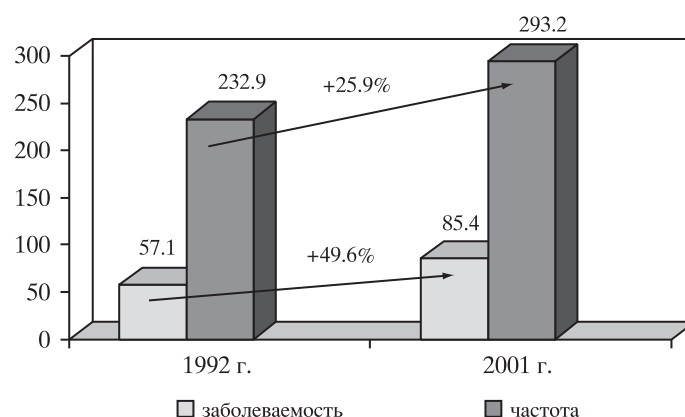


Рис. 7. Заболеваемость (впервые выявленная) и частота невротических и соматоформных расстройств, связанных со стрессом, среди детей 15–17 лет (на 100 тыс. детей)

зации возрастных биологических потребностей детского организма в сне, двигательной активности, пребывании на воздухе (рис. 6). Напряженный характер учебы, значительный объем учебной нагрузки, дефицит времени для усвоения информации оказывают стрессорное воздействие на развивающийся детский организм (рис. 7). Это способствует формированию невротических и соматоформных расстройств, обусловленных стрессом. Так, в течение 90-х годов распространенность этой группы заболеваний среди детей старшего подросткового возраста увеличилась на 25,9%, а частота впервые выявляемой патологии – на 49,6%. Степень утомления учащихся, уровень их невротизации, эмоциональный комфорт и, в конечном итоге, состояние здоровья детей зависят не только от объема учебной нагрузки и ее содержания, но также и от методов, режимов и технологий обучения.

Важным фактором риска развития отклонений в состоянии здоровья является нерациональное питание школьников. Медицинской и сельскохозяйственной науками обоснованы нормативы и принципы организации питания детей и подростков в образовательных учреждениях (рис. 8).

Доказано, что состояние здоровья во многом зависит от образа жизни семьи и ребенка (рис. 9). Последние годы характеризуются значительным ростом распространенности среди детей стереотипов поведения, сопряженного с риском для здоровья. В настоящее время курят почти 18% детей в возрасте 10–11 лет и более 60% 16–17-летних. Употребляют различные алкогольные напитки (включая слабоалкогольные) около 40% 10–11-летних детей и более 70% 16–17-летних. Средний возраст приобщения к курению составляет 10 лет, к употреблению алкоголя – 11 лет. Профилактика рисков для здоровья форм поведения детей и подростков – важный резерв снижения их заболеваемости и социальной дезадаптации.

Низкий уровень состояния здоровья детей, особенно формирующийся к окончанию школы, определяет значительные негативные медико-социальные последствия – снижение интеллектуального, трудового, репродуктивного и военного потенциала общества и государства.



Рис. 8. Последствия нарушения питания в раннем возрасте

Вопросы состояния здоровья детей, проблемы разработки современных медицинских и организационных технологий профилактики и диагностики болезней детского возраста, лечения детей постоянно находятся в поле зрения ученых Российской академии медицинских наук. В настоящее время учреждениями Российской академии медицинских наук в соответствии с планом мероприятий, утвержденным Президиумом РАМН, проводится работа по реализации основных положений Послания Президента Российской Федерации Федеральному собранию 2006 г. План включает приоритетные задачи в сфере развития медицинской науки, развития высоких медицинских технологий и инновационной деятельности, которые позволят подготовить научно обоснованные решения демографических проблем, предложения по модернизации здравоохранения, медицинского образования и подготовки научных кадров.

Учитывая важность проблемы состояния здоровья детей, XIV (LXXVII) сессия Общего собрания Российской академии медицинских наук (9–11 декабря 2004 г.) была посвящена научным основам охраны здоровья детей. Сессия отметила, что для коренного улучшения ситуации в состоянии здоровья детей необходимо комплексное решение наиболее актуальных вопросов детского здравоохранения с использованием новых технологий в медицине XXI в. При этом следует

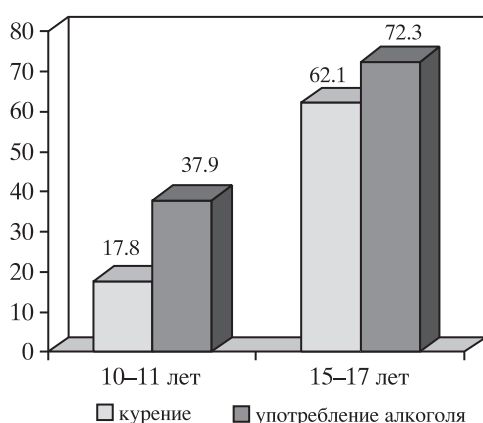


Рис. 9. Распространенность курения и употребления алкоголя среди школьников, %

отметить, что система и организация образовательного процесса должны способствовать сохранению и укреплению здоровья детей. Здоровье и образование детей – основа устойчивого развития российского общества и государства. Сессия обратила внимание на необходимость сохранения программно-целевого подхода при решении вопросов охраны здоровья детей, увеличения финансирования федеральных целевых программ по охране детства.

Необходимо отметить, что Научный центр здоровья детей РАМН был инициатором и основным разработчиком подпрограммы “Здоровый ребенок” федеральной целевой программы “Дети России” на 2003–2006 гг. НЦЗД РАМН все эти годы являлся основным исполнителем научного раздела подпрограммы. Кроме того, Центр является также соисполнителем Федеральной целевой программы “Патриотическое воспитание граждан Российской Федерации” и соисполнителем программы “Предупреждение и борьба с заболеваниями социального характера”.

Охрана здоровья детей в образовательных учреждениях – одно из ведущих направлений деятельности Российской академии медицинских наук. Практически все медико-профилактические регламенты (санитарные нормы и правила) деятельности школы, обеспечения безопасности, профилактики заболеваний и оздоровления детей в образовательных учреждениях научно обоснованы и разработаны в стенах Научного центра здоровья детей РАМН. Нельзя забывать и о деятельности, направленной на совершенствование диагностики болезней детского возраста и лечения детей. Сессией “Научные основы охраны здоровья детей” были поставлены и учеными РАМН успешно решены задачи по разработке и внедрению новых технологий профилактики и лечения аллергических, сердечно-сосудистых болезней, патологии органов пищеварения. На основе исследований РАМН широко внедряются скрининговые методы исследования факторов риска, диагностики, профилактики и лечения инфекционных и соматических заболеваний у детей. Расширены фундаментальные и прикладные исследования для внедрения современных принципов санитарно-эпидемиологического благополучия детского населения, формирования и пропаганды здорового образа жизни в условиях реформирования системы образования, ранней трудовой занятости подростков с учетом современного уровня морфофункционального и психосоциального развития детей.

Настоящая сессия – это новый этап в обосновании современных и адекватных подходов к укреплению здоровья подрастающего поколения россиян, профилактике заболеваний, обеспечению безопасных условий жизнедеятельности. Реализация государственной политики, направленной на повышение конкурентоспособности России, во многом определяется здоровьем и благополучием современных детей, их успешным развитием, своевременным и безболезненным включением в социально значимую деятельность, что определяет будущее любой страны. Только совместными усилиями всех заинтересованных ученых и практиков можно добиться того, чтобы проводимая модернизация школьного образования остановила наметившуюся в последние годы негативную тенденцию существенного ухудшения состояния здоровья детей и подростков.

Научный потенциал академий, имеющих государственный статус, позволяет обеспечить как научные основы, так и научное сопровождение развития в 2007 и последующих годах национальных приоритетных проектов в сфере здравоохранения, образования, сельского хозяйства и обеспечения доступного жилья, а реализация национального приоритетного проекта в сфере здравоохранения открывает новые возможности в медицинском обеспечении детей, в частности, по важнейшему направлению – профилактическому. Конечная цель проектов в отношении детства – формирование здорового поколения россиян и выход России из демографического кризиса.

Что же необходимо сделать медицинской науке в решении проблемы улучшения состояния здоровья детей, обучающихся в образовательных учреждениях?

Важнейшими направлениями в области фундаментальных исследований по проблемам здоровья и образования детей являются:

- комплексные исследования возрастно-половых закономерностей роста, развития и формирования здоровья человека от рождения до зрелого возраста в современных условиях;
- разработка новых возрастных нормативов развития детей и подростков, критериев оценки адаптационных возможностей детей к учебным нагрузкам и к воздействию факторов среды;
- совершенствование критериев и подходов к оценке состояния здоровья на индивидуальном и популяционном уровнях;
- разработка новых технологий сохранения здоровья, основанных на прогнозе адаптации, повышении функциональных резервов организма и воздействии на факторы риска;
- разработка медико-педагогических критериев, нормативов и показателей адекватности учебных нагрузок, программ и технологий обучения функциональным возможностям детей;
- разработка медико-биологических основ биологической и химической безопасности предметов жизнедеятельности детей и подростков.

В практическом отношении прежде всего должны быть научно обоснованы, разработаны и реализованы следующие программы:

- эффективного медицинского обеспечения детей в образовательных учреждениях;
- обеспечения детей и подростков здоровым питанием в образовательных учреждениях;
- развития физической культуры и спорта, в том числе в образовательных учреждениях;
- формирования устойчивых стереотипов здорового образа жизни детей, подростков и молодежи;
- профилактики детского травматизма;
- нарушений репродуктивного здоровья.

Все стоящие перед медицинской наукой задачи могут быть успешно решены при государственной поддержке и адекватном финансировании медицинской науки.

ВОСПИТАНИЕ И СОЦИАЛИЗАЦИЯ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ: РИСКИ И ВОЗМОЖНОСТИ

*Президент РАО
академик Н.Д. Никандров*

В конце 80-х – начале 90-х годов Россия пережила шоковую терапию. Прежде всего, конечно, в экономическом отношении. Основная часть населения была различными способами лишена своих сбережений; небогатая, но с точки зрения социальной защищенности достаточно стабильная жизнь ушла в прошлое; большинство работников бюджетной сферы стали получать зарплату ниже прожиточного минимума, часто с задержками; стала реальностью безработица. Все это коснулось и тех людей, которые по советским меркам могли считаться вполне обеспеченными, например военных, “остепененных” вузовских преподавателей и научных работников.

Следствием экономического шока было тоже шоковое, разумеется, не одномоментное, но очень быстрое изменение ценностей общества. Разными способами народу стали объяснять, что каждый должен сам заботиться о себе, что надежда на защиту и помощь государства – на его “патерналистскую” роль – есть признак незрелого государства и незрелых граждан, что в цивилизованном (непонятно, каком, но понятно, что не нашем, не российском) обществе не так, что коллективизм должен уступить место индивидуализму, что негоже выбирать в жизни дешевую колбасу, если непременно альтернативой ей является личная свобода и т.д. Тогда появились, а сейчас продолжают появляться книги, где даются вполне конкретные советы – как стать богатым, успешным, конкурентоспособным, как перестать при этом особенно задумываться о благе ближнего, что только мешает собственному успеху [Боровой, 2004; Вагин, 2002; Коноваленко, 2002; Попов, 2002; Правдина, 2004; Свияш, 2003 и многие др.].

Ретроспективно глядя на те времена и дела, авторы и исполнители реформ считают, что при минимальных недостатках все было сделано как надо [Гайдар, 1996; Ослунд, 2003; Приватизация, 1999]. Не сожалеть же, на самом деле, о каких-то миллионах людей, раньше времени ушедших на тот свет и не появившихся на этот! Как нам тогда объясняли некоторые реформаторы, недаром же Моисей водил свой народ по пустыне сорок лет, чтобы ушли из жизни прежние поколения. А здесь была такая удачная возможность ускорить процесс, не мучаясь сорок лет!

С тех пор прошли годы. Рождаются новые люди, взрослеют малыши, дети постарше становятся подростками, юношами и девушками, вступает в сознательную жизнь молодежь. Эти люди социализируются, т.е. становятся частью общества в совершенно иной системе ценностей. Социализация включает не только образование (с его составными частями – воспитанием и обучением), но и влияние жизни во всей полноте сознательно учитываемых и случайно возникающих факторов.

От того, насколько скоординированной, или, во всяком случае, непротиворечивой оказывается вся система этих влияний, зависит, какими будут

люди. Причем опыт всех культур показывает, что социализация, влияние окружающей жизни оказывают во многих отношениях более сильное формирующее воздействие, нежели образование. Иными словами, школа жизни сильнее собственно школы – понимаемой, конечно, широко, – и если их влияния разнонаправлены или просто не скоординированы, возникает целая система рисков для человека, общества и государства. Для того чтобы конкретно обсудить эти возможные риски, надо посмотреть, каково содержание тех текстов, которые предъявляются в этой системе людям различными способами, какое влияние они оказывают.

Восприятие внешних влияний, на которых построена социализация, зависит от состояния самого воспринимающего. В нашем случае это – уровень жизни населения, особенно же – самовосприятие, понимание самого себя в жизни, своего места в ней, своей системы ценностей. По данным учебника “Социальная политика” (2003), за годы реформ уровень жизни понизился у 60% россиян, остался неизменным у 25–30, повысился у 15–20, заметно повысился у 3–5%, при этом всеми отмечается большая дифференциация доходов. Этот относительно невысокий уровень жизни, который Президент страны В.В. Путин жестко обозначил как проблему бедности, приводит и к демографическим проблемам, об остроте которых он также не раз говорил. Ожидаемая продолжительность жизни мужчин у нас 58 лет, женщин – 72 года. В среднем за последние годы мы теряем миллион в год населения и миллион в год учащихся, что является прямой угрозой будущему России. Будем надеяться, что недавно предложенные Президентом страны меры по выправлению неблагоприятных демографических тенденций принесут свои плоды.

В самые последние годы в России наблюдается экономический рост, рост валового внутреннего продукта. К сожалению, прежде всего за счет сырьевого комплекса и благодаря рекордно высоким ценам на нефть. И все же рост, который при многолетней стабильности в экономике был бы заметен не только на макроуровне, но и на микроуровне, т.е. его почувствовал бы практически каждый гражданин. Но ежегодный – на самом деле заметный – рост ВВП на 6–7% не может быстро выровнять последствия реформ 90-х годов, особенно отпуск цен, приватизацию начала 90-х и дефолт 1998 г. Поэтому общее восприятие жизни, оценки прошлого и перспектив будущего гражданами новой России складываются на этом неблагоприятном фоне.

Неоднозначность выводов, сделанных на основании изучения этих проблем, во многом зависит от политических взглядов специалистов. Повидимому, достаточно объективными можно считать работы ученых РАН “Граждане новой России: кем себя ощущают и в каком обществе хотели бы жить” (2005) и “Реформирование России: реальность и перспективы” (2003). Из них следует, что мы гордимся победой в Великой Отечественной войне, быстрым прогрессом после войны, нашей великой культурой и достижениями в науке. Мы стыдимся ельцинского периода больше, чем всех других неблагоприятных и сложных периодов развития страны. Наша оценка СССР по шкале от плюса к минусу “скорее положительна”. Население во многом симпатизирует “эпохе застоя”, три четверти россиян отмечают в ней прежде всего социальную защищенность. Вместе с тем мы предпочитаем общество равных возможностей (заметим: возможностей, а не прав) обществу равных доходов.

Разумеется, в вышеприведенных суждениях “мы” весьма условно. Иначе и не может быть, особенно при резком социальном расслоении, да и возраст опрашиваемых во многом определяет ответы. Но оценки эти показательны, а для нас они важны в том смысле, что не могут не сказываться на характере социализации молодежи.

Каналы, средства социализации разнообразны. Это, конечно, образование, включающее, мы помним, воспитание и обучение. Начнем с него не потому, что оно является главным средством социализации, если вообще можно говорить о каком-то “главном” средстве. Напротив, даже по времени, которое современный подросток проводит у телевизора и которое превышает время пребывания в школе [Образование, 2000; Собкин и др., 2005], легко предположить трудности школы в ее стремлении сеять разумное, доброе, вечное. Кроме того, телевидение, массовая культура, реклама и прочие каналы социализации используют технические возможности, намного превосходящие возможности школы. Вместе с тем нельзя недооценивать российского учителя, который в самые тяжелые времена работал, не жалея сил, часто на пределе своих возможностей и при неадекватном вознаграждении за свой труд. И все же для неспециалистов все проблемы поведения молодежи – вообще дело сугубо “школьное”. Как часто мы слышим вокруг, когда речь идет о каких-то реальных или мнимых прегрешениях подростков, слова: “Чему вас только учили в школе?!”

Определенные риски несет в себе содержание образования, прежде всего гуманитарных дисциплин. Сильной стороной советской школы всегда было высокое качество естественно-научного образования. При этом определенные недостатки нашего гуманитарного образования (в смысле содержания) частично компенсировались тем, что оно работало в координации, практически в унисон с системой образования. Это вело к известному единообразию, школьники и студенты недополучали некоторого содержания, табуированного по идеологическим соображениям. Но вместе с тем было невозможно и то, чтобы на уроках и лекциях по литературе или по истории давалось содержание, которое ставилось под сомнение или полностью опровергалось доступными вне программы литературой, кино, театром, телевидением. А высокая классика в те годы не только была доступна, но и пропагандировалась.

Сейчас ситуация резко изменилась. Гуманитарным дисциплинам приходится бороться за свое место в школьной программе. Их содержание, конечно, частично определяется этой программой. Но та свобода, с которой современный российский учитель может отбирать и интерпретировать материал, была в России невозможна ни в советское, ни в досоветское время. Более того, в США, например, и сейчас совершенно немыслима ситуация, когда трудные моменты истории страны получали бы в учебниках, да, как правило, и на уроках не общепринятое, не патриотическое толкование. Нет в США и такого разнообразия учебников истории, как в современной России. Достаточно даже бегло посмотреть на издательский рынок России, послушать многочисленные дискуссии в СМИ, вспомнить, наконец, что в России – невиданное нигде дело! – на заседание правительства страны был в свое время вынесен вопрос об учебниках истории, чтобы понять: ситуация более чем серьезна. Освещение многих вопросов нашей истории в учебниках столь

разнообразно, что говорить о воспитании гражданского патриотического сознания народа как целостного субъекта невозможно.

В настоящее время вопрос о допуске в федеральный школьный учебный комплект того или иного учебника решается Министерством образования и науки с опорой на заключение Российской академии наук и Российской академии образования. Как председатель соответствующей комиссии в РАО могу утверждать, что вопрос этот не простой. Просто он решается лишь в случае явных фактических ошибок, которые тоже встречаются и в рукописях, и в уже изданных учебниках. Если же речь идет об интерпретации, а не о фактах, то следует вспомнить очень важную 29-ю статью Конституции РФ. Прочитую только принципиальные для нашей темы пункты 4 и 5 этой статьи: “4. Каждый имеет право свободно искать, получать, передавать, производить и распространять информацию любым законным способом... 5. Гарантируется свобода массовой информации. Цензура запрещается”. Таким образом, учитель или автор учебника может принять любую из бесчисленных интерпретаций в любой из книг по истории страны, выпущенных в последние годы. На это положение может сослаться не только учитель и автор учебника, но и автор (производитель) любого текста, например, рекламного.

История, обществознание – пожалуй, самые “чувствительные” предметы школьного цикла в смысле гражданского воспитания. Но и в целом гуманитарную часть школьной программы нельзя признать достаточной. Чрезвычайно важно и то, что во всех последних документах о научных приоритетах России о гуманитарной проблематике также не говорится достаточно ясно. А патриотическое, гражданское сознание формируется прежде всего предметами гуманитарного цикла, и научной основой является исследование гуманитарных проблем. При недостаточности того и другого подлинного человека, гражданина с высоким уровнем духовности и патриотизма воспитать невозможно. В этом плане существенно, что, оценивая социальные риски и угрозы в современной России, ученые РАН сделали вывод о необходимости строительства российской гуманитарной инновационной сети. Как отмечается в Отчете РАН за 2005 г., применительно к гуманитарным наукам “динамика инноваций в России находится на уровне, который неприемлем для достижения поставленной национальной цели” (Отчет, 2006. С. 92). С такой оценкой руководство и специалисты Российской академии образования вполне солидарны.

Свобода информации, вариативность учебников – достижения гражданского общества. В России движение в этом направлении началось со времен перестройки, с плюрализма и гласности. Тогда же стало ясно, что свобода информации, не сопряженная с ответственностью, может приводить к большим издержкам самого различного характера. Впрочем, это понимали в России и гораздо раньше, когда еще не было терминов “черный пиар”, “телекиллер” и т.д. Некоторые известные деятели российской культуры, пострадавшие от суровой цензуры, оставили в своем творчестве свидетельства о том, что свобода информации, не подкрепленная ответственностью, еще хуже цензуры. Вредоносны в смысле нравственного воспитания и многие тексты, печатные и не напечатанные, которые вполне можно назвать непечатными. Примеры подобного рода текстов легко найти в телепрограммах, фильмах, книгах,

а теперь, к сожалению, и в театральных постановках, причем классических, но искаженных до неузнаваемости.

Отвлечемся от возможных личных обид, которые способны нанести любители “черного пиара”, и вспомним о вреде общественном. Например, о вреде агрессивной рекламы пива, мнение о которой совпадает практически у всех, кроме производителей пива и рекламы, имеющих от этого непосредственную прибыль. В то же время, казалось бы, есть чисто конституционное положение, которое могло бы прийти на помощь, и не только в борьбе с рекламой пива. Это – ст. 55 Конституции, п. 3 которой гласит, что “права и свободы человека и гражданина могут быть ограничены федеральным законом только в той мере, в какой это необходимо в целях защиты основ конституционного строя, нравственности, здоровья, прав и законных интересов других лиц, обеспечения обороны страны и безопасности государства”. Пусть “только в той мере”, но все же *могут* быть ограничены! И ведь в данном случае вопрос на житейском уровне ясен: очень немногие возьмутся утверждать, что агрессивная реклама пива безвредна, не ведет к все большему потреблению пива, прежде всего молодежью. Но юридические, законодательные решения, как и во многих других случаях, упираются в коммерческие интересы производителей. Когда во главу угла поставлены эти интересы, логика, как иногда сейчас говорят, “отдыхает”.

Помимо недостаточности гуманитарной части образования есть еще одна трудность воспитания по сравнению с социализацией. Воспитание во многом опирается на слово, которое, несомненно, оказывает мощное влияние. Но социализация влияет через события, материальные и иные условия жизни, в общем случае – через дело. Разлад между словом и делом – вообще давняя проблема и нашей страны, и, соответственно, педагогики, да и всей системы социализации. Например, пока то, чему учила школа, разделялось в идейном плане большинством народа, на самом деле вознаграждалось жизнью, гражданское воспитание было достаточно успешным. Успешным с точки зрения техники, эффективности достижения цели; о содержании и направленности воспитания речь не идет. Когда примерно на рубеже 70-х – 80-х годов все чаще стал намечаться разрыв слова и дела, мы получили проблемы воспитания, с которыми в последние годы существования СССР так и не смогли справиться.

Конечно, в хорошо организованной и спланированной воспитательной работе слово – не единственный инструмент. Важным является включение в дело, в специально организованную систему дел, которые воспитывают. Но именно этого сейчас во многом и не хватает. Лишь в самое последнее время возрождаются военно-спортивные игры, поисковые работы патриотической направленности, создаются общественные молодежные и детские организации, иногда пропагандируется и используется безвозмездный труд. Это является прямым контрастом с ситуацией, созданной в начале и сохранявшейся в течение всех 90-х годов. Более того, это контрастировало и с тем, что имело место, например, в США, где мощное патриотическое воспитательное влияние оказывало более столетия культивировавшееся скаутское движение. Его идеи (как и практика скаутизма в различных странах) всегда включали и включают преданность Богу, стране, семье, правительству, вообще начальству (Детское движение, 2005. С. 280–290). Они не только вос-

питывали преданность режиму (что, кстати сказать, тоже фактически всегда являлось задачей скаутизма). Они воспитывали любовь к своей стране, ее народу, чувство дружбы и умение прийти на помощь, причем это подчеркивалось в приветствии “Будь готов!” и отзыве “Всегда готов!”, среди многого другого перешедших от скаутов к пионерам.

Борьба за умы и сердца людей, особенно молодых, всегда велась, ведется и будет вестись. Например, в 90-е годы, когда экономика страны разрушалась, жизненный уровень падал, угроза распада страны была вполне реальная, ее суверенитет становился все более призрачным, русскоязычные передачи зарубежных радиокompаний были полны хвалой в адрес Б.Н. Ельцина. Сейчас, когда эти неблагоприятные тенденции постепенно преодолеваются, В.В. Путин весьма часто становится мишенью для критики со стороны этих радиостанций.

В условиях, которые сложились в 90-е годы, в условиях распада СССР и угрозы распада России гражданского, патриотического воспитания нашей молодежи практически не было. Ей предлагались не только в экономике, но и в повседневной жизни идеи рынка и конкуренции под углом зрения известного лозунга фирмы “Пепси” – “Бери от жизни все!” При этом даже самые успешные капиталисты и рыночники понимают, что рыночная идеология – не основа всей жизни, а лишь набор правил жизни экономической. Серьезные трудности и для воспитания, и для социализации создают массовая культура, телевидение, радио, кино, реклама. Это перечисление не является попыткой ранжировать факторы влияния по значимости, тем более что они зависят не только, а порой и не столько от содержания, но и от потребления, в свою очередь зависящего от возраста и социального положения “потребляющего”. Называть массовую культуру абсолютным злом и настаивать только на максимально “серьезной” музыке, литературе и т.д., хотелось бы думать, никто сейчас не будет. Вопрос в доступности, пропаганде и масштабах воспроизведения той или иной культурной продукции, в мере ее влияния на массового человека. В этом смысле следует признать, что в 60-е годы США практически навязали всему западному миру свою культурную традицию, традицию молодой культуры, хотя и возникшей на основе эмигрантских европейских образцов, но весьма измененной духом прагматизма и рынка. Несмотря на то что некоторые европейские страны в то время пытались бороться с этим явлением (вспомним знаменитый закон, принятый во Франции, “О защите французского языка”), финансовые возможности, а, значит, и мера влияния США и их масскульты были непреодолимы.

Еще раз отмечу – развлекательные, не требующие особого напряжения мысли, сугубо потребительские культурные произведения, умелые, профессионально созданные культурные поделки нужны. Нужны тем более в наше достаточно напряженное время, когда в своей повседневной жизни человек сталкивается с множеством проблем, от которых хоть ненадолго хочется разными способами уйти. В то же время каждый, кто мысленно просканирует несколько последних лет потребления продукции современного телевидения, кино, радио, таблоидов, уличной и домовой рекламы и прочих каналов масскультурного воздействия, согласится, что в его содержании есть целый ряд типичных посылов, влияющих на воспитание и социализацию всех, прежде всего, конечно, детей и молодежи. Это позволяет социологам сделать

весьма жесткий вывод о том, что “технология работы телевидения, опираясь на фундаментальные социокультурные и психологические механизмы, сориентирована отнюдь не на нормальную человекообразную логику социализации и сохранения психического здоровья, а, напротив, работает на их разрушение” (Собкин и др. 2000. С. 160).

Какие это послылы? Это – всевластие денег, которое пропагандируется всеми возможными способами. Различные игры на деньги, всевозможные призы, бонусы, скидки и прочее – конечно, лишь детали. Основное здесь – сам характер еще недостаточно развитой рыночной экономики, а также многочисленные сериалы и отдельные фильмы (прежде всего видео), в которых так или иначе главным мотивом жизни и преступлений являются деньги. Второй посыл масс-медиа – практическая неизбежность, а во многом и необходимость насилия. Первоначально оно пришло на наш экран, конечно, из кино и телевидения США, которое довольно долго заполняло российские экраны на 75–90%. Теперь легко заметить, что наши собственные фильмы с соответствующими сюжетами делаются вполне по образу и подобию американских, практически не менее профессионально, но с той разницей, что насилия в них еще больше. При этом совершенно несущественно с точки зрения воспитания, особенно детей и подростков, что киногерои нередко используют насилие в борьбе за правое дело, например, для защиты честных людей от преступников. Весьма часто усваивается не это обстоятельство, а, так сказать, техническая сторона насилия и идея легкости его применения. Насилие в жизни, конечно, было всегда, но изображать его вообще значило бы погрешить против правды жизни. Но вспомним, как изображали насилие, боль, физическое страдание в фильмах, созданные во время и вскоре после Великой Отечественной войны. Сейчас, когда массовым просмотром фильмов с насилием своего рода порог восприятия у зрителя намного поднят, “то” насилие уже не воспринимается с сочувствием к одним, с осуждением других – оно очень часто воспринимается как набор технических приемов и просто средство развлечения.

Далее, современная масскультура перегружена сексуальной тематикой. Разумеется, здесь легко перейти в наступательную позицию и задать вопрос: а какова, собственно, своего рода “норма” соответствующих сюжетов в культуре, учитывая несомненную важность для человека этой стороны жизни? Готового ответа нет, но нетрудно заметить, что и частота изображения любовных игр и секса, и откровенность таких изображений, и изображение нетрадиционных ориентаций в сексе резко увеличились в нашей стране за последние годы. При этом отмечается более раннее начало половой жизни подростков (Собкин, 2005) любовь все больше заменяется сексом, количество преступлений на сексуальной почве возрастает, молодежь все чаще откладывает создание семьи не только по экономическим соображениям. Может быть, менее заметным, но все же важным следствием является искажение в воспитании традиционного гендерного образа: женщинам (особенно будущим женщинам, девочкам) экран навязывает образцы мужского поведения (образ “андрогина”, унисекс в моде и т.д.).

Существенной стороной в содержании масскультуры является и дегероизация, при которой прежние герои реальной жизни, художественных литературных произведений, кино, телевидения подвергаются табуированию

или осмеянию. Если в советские времена был культ В.И. Ленина, создана кинолениниана (с весьма разными художественными достоинствами), то в 90-е годы практически различными способами создана “антилениниана” с изображением Ленина как недалекого жестокого фанатика, наделенного чуть ли не всеми человеческими пороками. Вспомним также рекламные ролики на рыночные темы, в которых упоминания попавших в немилость в те (90-е) годы политических деятелей прошлого, а также рекламные тексты пелись на мелодии песен патриотического содержания и гимнов – Гимна Советского Союза и “Интернационала”. Вспомним: “Олби всегда живой, Олби всегда с тобой” и т.п. Это рвет традицию, нарушает связь времен, обостряет проблему отцов и детей, а при проекции в будущее – воспитывает поколение, которое заранее будет обречено на неуважение к предыдущему поколению, к своей стране, поколение иванов, родства не помнящих.

Близкой к предыдущей является еще одна сторона содержания нашей радио-, кино- и видеопродукции. Речь идет о ее весьма частой антипатриотической направленности. Для сравнения вспомним многочисленные американские боевики, в которых президенты США попадают в тяжелую террористическую ситуацию. Типичен фильм “Борт номер один” (в нашем прокате и на телевидении – “Самолет президента”). Самолет президента США захвачен террористами. Как смело себя ведет он сам, как смело действует его окружение! Есть некоторая нескоординированность действий силовых структур (для вящего напряжения сюжета), но в своих основных целях и действиях они едины. Попутно проводится мысль о терроризме на базе бывших советских среднеазиатских республик. Прекрасная игра Х. Форда дополняет картинку, имеющую несомненное положительное воспитательное влияние на американского подростка. Но кого воспитывают этот и многочисленные подобные добротные поделки-боевики у нас, в России? Конечно, они развлекают. И одновременно весь видеоряд воспитывает из наших подростков скорее американских, а не российских патриотов.

Детальный анализ американских фильмов с позиций гражданского воспитания нам сейчас не нужен, к тому же каждый сможет привести немало подобных примеров из своей зрительской практики. И, казалось бы, при отсутствии в США некоего единого политико-идеологического центра, своего рода “агитпропа”, при свободе мнений, и школьная программа, и молодежные общественные организации, и кинопродукция воспитывают американскую молодежь в духе преданности стране, патриотизма, уважения к властям, к президенту, т.е. в духе гражданских добродетелей.

Не будем и переоценивать эффективность этого воспитания. Порядок в США в значительной мере поддерживается жестким и привычным для жителей полицейским надзором. Если по каким-либо причинам он ослабевает, насильственная преступность взмывает вверх. Так это было, например, в сентябре 2005 г. после урагана “Катрин” в Новом Орлеане, когда широко процветало мародерство и был отдан приказ стрелять в мародеров на поражение. При этом законы многих штатов США позволяют приговаривать к смертной казни несовершеннолетних, правда, “гуманно” позволяя им дожить до совершеннолетия для исполнения приговора. Думаю, в этом брать пример с США не стоит. Но последовательности и четкости содержания гражданской социализации в США у нас нередко соответствует широкомасштабное

критику. Критикуются власти всех уровней, критикуется армия, критикуется история страны.

Иногда говорят, что средства массовой информации лишь сообщают о недостатках общества, но сами их не производят. По большому счету это, конечно, верно. Вместе с тем нельзя недооценивать и эффект “самооправдывающегося пророчества” (self-fulfilling prophecy), о котором давно писали американские психологи. Если ребенку все время говорить о том, какой он плохой, он, скорее всего, не будет лучше, лишь озлобится. Если обществу все время и все больше говорить о его язвах, их не будет меньше. В какой-то мере влияние этих посылов уменьшает образование – при всех его трудностях. Смягчает его также религия, точнее, религии. Традиционные религии России, прежде всего православие, и в догматике (каноническом учении Церкви), и в проповедях пропагандируют такие ценности как стремление к миру, любовь к Отечеству, к ближнему, особенно слабому, уважение к армии как защитнице страны. Но при несомненном росте религиозности нашего населения реальное ее влияние на массы населения проявится далеко не сразу.

Приведенные выше факты позволяют утверждать, что современная система социализации в России (включая и образование) привносит в жизнь общества ряд рисков, связанных с формируемым ею образом человека. Благодаря соответствующим текстам, различными способами доводимым практически до всех без исключения граждан страны, в обществе могут возрастать такие его характеристики, как:

- антипатриотизм и утрата чувства Родины;
- неуважение к власти, армии и силовым структурам вообще;
- национализм в его различных формах;
- рост корыстно обусловленной и насильственной преступности;
- равнодушие или активная неприязнь к людям, жестокость;
- распространение алкоголизма и наркомании;
- обострение проблемы “отцов и детей”, неуважение к уходящим и ушедшим поколениям;
- равнодушие к созданию семьи, промискуитет, пробные браки, социальное сиротство, рост проституции как основного или побочного занятия;
- примитивизация потребностей и интересов с соответствующим обратным влиянием на культуру со стороны ее потребителей.

Это суть риски для физического, нравственного и психического здоровья человека, риски для нравственного здоровья общества, риски для безопасности страны. При этом риски социализации не снимаются воспитанием, школой, образованием в самых разных учреждениях.

Необходимо подчеркнуть, что это – именно риски, т.е. возможность и вероятность возникновения нежелательных событий, а не обязательные последствия. Вместе с тем непредвзятый взгляд, тем более внимательный анализ происходящего в последние годы показывает, что риски эти реальны, соответствующие изменения в нашей жизни отнюдь не надуманны, вероятность наступления нежелательных событий высока. Это совершенно не значит, что в жизни нет изменений к лучшему, они есть, и им, естественно, надо только радоваться. Но сейчас речь идет о рисках, т.е. о том, чего по возможности хотелось бы избежать. Есть ли такие возможности и каковы они?

Бесспорно, такие возможности есть. Прежде всего необходимо признать серьезность проблемы, признать реальность этих рисков и необходимость принятия контрмер. Если делать акцент только на положительных – вполне реальных – изменениях в стране, эти риски будут возрастать. Необходимы действия по предотвращению и смягчению того, о чем только что шла речь. Если же обобщать, то необходимо усилить гуманитарную составляющую в содержании образования и в научных исследованиях как основе этого содержания. Таким путем преодолевается давнее понимание человека как биосоциального существа, делается особо важной и значимой его духовная составляющая (“био – социо – дух”) со всем ее разнообразием и богатством. Тем более что конкурс “Учитель года-2006” показал – у нас есть прекрасные учителя литературы и истории!

Необходимо всемерно укреплять патриотическую направленность содержания образования, всю работу в стране по воспитанию граждан-патриотов. История показывает, что патриотическая одушевленность граждан страны, даже при относительно невысоком уровне жизни, позволяет решать, казалось бы, неразрешимые проблемы. О важности этой работы я имел возможность сказать Президенту страны В.В. Путину, когда он вручал мне государственную награду.

Необходимо, проявив политическую волю, принять ряд ограничительных мер. Примером является то, что существует в ряде других (в том числе “развитых” или “цивилизованных” стран) – цензура по мотивам нравственности. С другой стороны, необходимо всемерно воспитывать разумную систему ценностей. Здесь я хотел бы процитировать несколько строк из письма нашего академика, А.А. Бодалева, который по болезни не смог сегодня быть здесь и написал мне письмо: необходимо формировать у молодежи понимание смысла жизни, “конкретизируемого в сохранении и укреплении таких ценностей как планета Земля, человечество, благо Отечества, здоровье людей, достижения каждым человеком вершин профессионализма, нравственного выполнения своих гражданских, супружеских и родительских обязанностей”. Уверен, что и все мы, собравшиеся здесь сегодня, понимаем важность этих идей.

Все эти меры и ряд других должны быть увязаны в общенациональную программу воспитания (и социализации), которая с необходимостью будет конкретизироваться по регионам, муниципалитетам и т.д. для учета интересов различных групп населения и районов его проживания. Речь не идет, как иногда воспринимаются соответствующие идеи, о формировании однотипного человека-винтика. Но при отсутствии некоторых объединяющих людей общих позиций, ценностей и идей народ превращается в население, население превращается в толпу (Московиси, 96).

Здесь намеренно не рассматриваются экономические и медицинские вопросы и меры. Понятно, что общий фон восприятия жизни будет более благоприятным, если экономика развивается успешно, если жизненный уровень и качество жизни высоки. Более того, в некоторых работах качество жизни рассматривается как основа социальной безопасности (Лига, 2006). В то же время опыт экономически благополучных стран свидетельствует, что само по себе это благополучие не является гарантией ни от высокой преступности, ни от ряда других отрицательных сторон жизни.

Разумеется, очень хорошо, когда при этом есть и общенациональная идея, в предельно кратком выражении символизирующая принятую в данном обществе систему ценностей, представления о том, “что такое хорошо и что такое плохо”. Но даже при отсутствии такой общенациональной идеи разумная и сбалансированная система идей и мер позволит избежать ряда серьезных рисков для развития человека, общества, всего нашего Отечества.

Считаю, что разработка подобной системы идей и мер может быть одной из достойных задач, решаемых совместно учеными всех государственных академий, специалистами высшей школы, практиками и управленцами. В этом случае возможность устранения этих рисков, возможность позитивного движения к физическому здоровью человека, нравственному и духовному здоровью нашего общества вполне реальна. Я бы хотел в этой связи вспомнить М.В. Ломоносова, нашего великого ученого и патриота России. Он видел трудности в историческом развитии нашей страны, он видел то, что мы сейчас называем рисками, и тем не менее в своей “Древней российской истории” писал в конце жизни: “Народ Российский от времен глубокою древности сокрошенных до нынешнего веку толь многия видел в счастии своем перемены, что ежели кто междуусобныя и отвне нанесенныя войны рассудит, в великое удивление придет, что на толь многих разделениях, утеснениях и нестроениях не токмо не расточился, но и на высочайший степень величества, могущества и силы достигнул...Каждому несчастью последовало благополучие большее прежняго, каждому упадку вышшее восстановление...Противу мнения и чаяния многих, толь довольно предки наши оставили на память, что применяясь к летописателям других народов, на своих жаловаться не найдем причины” (Ломоносов, 1766. С. 1–2). Этими замечательными словами нашего великого соотечественника, которые ориентируют нас на оптимизм, позвольте мне завершить свое выступление.

СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ АГРАРНОЙ НАУКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ ДЕТЕЙ

*Президент РАСХН академик РАСХН
Г.А. Романенко*

Полноценное сбалансированное питание детей является одним из основных факторов сохранения здоровья и нормального развития подрастающего поколения нашей страны, а следовательно и всего населения в целом. Безотлагательное решение этой проблемы является обязательным условием обеспечения национальной безопасности страны.

К сожалению, за последние годы заметно уменьшилось среднелюдовое потребление отдельных видов продуктов питания, и прежде всего белков животного происхождения, что объясняется низкой покупательной способностью значительной части нашего населения (табл. 1).

Успешное решение продовольственной проблемы зависит от: 1) создания устойчивой базы производства сельскохозяйственной продукции; 2) состояния

Таблица 1
Потребление отдельных видов продуктов питания в России
(кг на душу населения)

Пищевые продукты питания	Рациональные нормы питания	1990 г.	2005 г.	2005 г. в % к 1990 г.
Мясо и мясопродукты	81	78	53	68
Молоко и молокопродукты	392	386	225	58.3
Яйцо (шт.)	292	297	295	99
Рыба и рыбопродукты	25	20	11.1	55.5
Масло растительное	16	10.2	11.3	110.8
Картофель	118	106	125	119
Овощи	139	89	95	106.7
Хлебопродукты	110	119	121	100.7

современной пищевой индустрии; и 3) доступности продуктов питания для всех слоев населения.

Весомый вклад в производство продукции для детского питания вносят ученые-селекционеры. Только за последние пять лет ими создано, с использованием мировой коллекции генетических ресурсов ВИРа, около двух тысяч новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, которые значительно превосходят стандарты по урожаю, качеству продукции, устойчивости к патогенам. Многие из них пригодны для производства детского питания, а около 300 создавались специально для этих целей. Некоторые из них не имеют аналогов в мире. По данным Международного испытания сортов озимой пшеницы в Канаде в 2002 г. Московская-39 признана лучшим сортом, сочетающим высокую урожайность с высоким качеством зерна. Яровая твердая пшеница Саратовская золотистая и Валентина, созданные учеными НИИСХ Юго-Востока, по содержанию в зерне каротиноидных пигментов значительно превосходят зарубежные аналоги и широко используются в производстве круп для детского питания. Селекционерами ВНИИ масличных культур выведены сорта подсолнечника, дающие масло, идентичное по составу оливковому. Определенные достижения получены в селекции высокомасличных безэруковых, низкоглюкозинолатных сортов рапса. Выведены высококрахмалистые гибриды кукурузы для производства кровезаменителя. Однако они пока не востребованы из-за бюрократической волокиты в решении вопросов налаживания производства этого ценнейшего препарата. Созданы отличные диетические сорта риса, способные осаждать на своей поверхности токсины и выводить их из организма, овощные культуры с повышенным содержанием биологически активных веществ, другие сельскохозяйственные культуры, пригодные для производства продуктов детского питания.

Разработана и реализуется концепция по фитосанитарной оптимизации растениеводства на основе интегрированной защиты растений, ориентированная на получение экологически безопасного сырья, а также надежные методы контроля остатков пестицидов в урожае и продуктах питания. Предполагается жесткий заслон ростовым веществам, гормонам и, на

данном этапе, ГМО. Нас беспокоит продукция личных подсобных хозяйств и дачников, где слабо ведется борьба с болезнями и вредителями растений, нет соответствующего оборудования и нормативов применения пестицидов.

Учеными-животноводками создано более 100 пород, породных групп, кроссов сельскохозяйственных животных и птицы, сочетающих высокий потенциал продуктивности с хорошим качеством продукции, наличием в ней достаточного количества питательных веществ, необходимых для детского питания. Хорошие результаты получены в исследованиях по прижизненному формированию животноводческого сырья заданного качества для детского питания за счет скармливания животным специальных кормов, сбалансированных по важнейшим микроэлементам и витаминам. Учеными ветеринарной медицины разработаны и внедряются в практику новое поколение диагностических и лечебных препаратов на основе использования современных иммунобиологических тестов и биохимических систем, обладающих высокой эффективностью, не оказывающих отрицательного влияния на питательную ценность и санитарные качества молока, мяса, рыбы, яиц и другого сырья для производства продуктов детского питания.

Научно-исследовательские учреждения Россельхозакадемии выполнили важную работу по обследованию сырьевых зон и выдали рекомендации по получению экологически безопасного сырья для 23 молочных предприятий, 4 мясокомбинатов, а также для предприятий по производству детского питания на зерновой основе в 6 регионах и плодоовощных консервов – в 12 регионах. Созданы карты-схемы содержания макро- и микроэлементов в почвах, подземных и поверхностных водах. Разработаны методические рекомендации по внедрению системы экологического мониторинга при производстве детских продуктов гарантированного качества и их сертификации.

23 института Россельхозакадемии занимаются непосредственно исследованиями по созданию пищевых продуктов детского питания. За последние 10 лет ими разработано 375 наименований продуктов для детей (табл. 2). Главным по этой проблеме является НИИ детского питания.

За последние годы в институте успешно развиваются междисциплинарные фундаментальные исследования научных основ разработки новых пищевых продуктов для детей всех возрастов. Здесь создано 19 новых технологий, 29 продуктов детского питания, получен 31 патент. Разработаны теоретические основы компьютерного проектирования детских продуктов

Таблица 2

Продукты детского питания для различных возрастных групп, разработанные институтами РАСХН (количество наименований)

Вид продукции	1996– 2000 гг.	2001– 2005 гг.	Всего 1996– 2005 гг.	Вид продукции	1996– 2000 гг.	2001– 2005 гг.	Всего 1996– 2005 гг.
Молочная	68	17	85	Зерновая	51	12	63
Мясная	26	26	52	Другая	52	45	97
Плодоовощная	47	31	78	Итого:	244	131	375

питания. На основе математического программирования создана методология и алгоритмы моделирования многокомпонентных смесей, входящих в состав этих продуктов.

ВНИИ молочной промышленности, стоявший у истоков зарождения молочной индустрии для детей, совместно с НИИ питания РАМН разработал ассортимент и технологии свыше 20 наименований жидких и пастообразных продуктов, среди которых адаптированные продукты для питания детей раннего возраста, в том числе недоношенных, продукты прикорма, творог, полученный методом ультрафильтрации; молоко стерилизованное обогащенное “Малышок”, молоко питьевое пастеризованное для детей старше 3 лет и стерилизованное для детей старше 1 года; сыр мягкий, не требующий созревания, для дошкольников и школьников из козьего молока; напиток кисло-молочный с пищевыми волокнами и другие. Учеными Института разработаны методические указания “Системы контроля производства детских продуктов гарантированного качества”, проект “Санитарно-технологических требований к производству продуктов дошкольного и школьного питания на молочной основе”, проекты четырех национальных стандартов на молочные продукты для питания детей разного возраста.

ВНИИ мясной промышленности совместно с НИИ питания РАМН разработана методология комплексного производства детских и диетических мясных продуктов, включающего откорм молодых животных, высокоэффективную переработку животноводческого сырья, изготовление продуктов для детей с использованием ресурсосберегающих технологий и систем обеспечения санитарно-гигиенических требований, гарантирующих получение продукции высокого качества. Только за последние пять лет разработано 52 наименования колбасных изделий и рубленых, натуральных полуфабрикатов для дошкольного и школьного питания. Почти половина из них предназначена для профилактического питания детей с хроническими заболеваниями органов пищеварения. Сегодня более 100 предприятий страны выпускают широкий ассортимент продуктов для детского питания, созданных учеными этих институтов.

Совместно с Институтом детского питания выполнены чрезвычайно важные исследования по разработке продуктов питания для детей северных регионов страны. В этих целях тщательно изучены местные ресурсы сырья, прежде всего оленины – аминокислотный состав, перевариваемость белков, жирнокислотный и витаминный состав, токсикологическая безопасность. Доказано, что мясо северных оленей является перспективным сырьем для производства продуктов ординарного, профилактического и реабилитационного питания для детей различных возрастных групп. Продукты, произведенные из оленины, получили высокую оценку специалистов-экспертов в области питания детей.

Учеными ВНИИ крахмалопродуктов в содружестве с Всероссийским генетическим центром, 6-й детской больницей, Институтом педиатрии и детской хирургии и Центром здоровья ребенка успешно решается проблема создания продуктов питания для детей, страдающих почечной недостаточностью, больных целиакией, фенилкетонурией. На опытном предприятии Института создана и работает линия по производству специальных безбелковых и с низким содержанием белка детских продуктов. Этими продуктами

обеспечивается 2800 больных детей России. Они также поставляются в Белоруссию, Украину, Казахстан, Грузию, Азербайджан и Армению.

Определенное внимание уделяется нашими учеными проблемам, связанным с потреблением хлеба и хлебобулочных изделий. Традиционно хлеб занимает особое место в детском питании, им покрывается более 30% энергетической потребности. Однако в изделиях массового потребления зачастую не хватает витаминов и микронутриентов. В целях ликвидации дефицита этих элементов ученые ГосНИИ хлебопекарной промышленности, НИИ кондитерской промышленности совместно с НИИ питания РАМН разработали технологии обогащения хлебобулочных и кондитерских изделий витаминами B₁, B₂, B₆, PP и микроэлементами. Например, булочные изделия “Здравушка” содержат в 3 раза больше железа, в 2 раза – кальция и витаминов, чем в изделиях массового потребления. К сожалению многие научные разработки по детскому питанию плохо осваиваются в производстве. Существующая индустрия детского питания не отвечает современным требованиям.

Многие разделы принятой в 1991 г. первой Государственной программы “Развитие индустрии детского питания в РСФСР на 1991–1995 годы”, которая в 1994 г. была включена в президентскую программу “Дети России”, не выполнены. Финансовые средства на развитие материально-технической базы отрасли за счет технического перевооружения и реконструкции действующих и строительства новых специализированных предприятий выделялись несвоевременно, не в полном объеме, а с 2002 г. финансирование было прекращено совсем. В результате из предусмотренных программой 101 предприятия детского питания введено в эксплуатацию 44 объекта. Сорвано выполнение подпрограммы по созданию новой техники. Предполагалось разработать 16 крупных комплексов и линий технологического оборудования для производства детского питания, в состав которых входит более 350 наименований новых машин и агрегатов, ранее не выпускавшихся отечественной промышленностью. К выполнению работ были подключены более 100 предприятий и организаций военно-промышленного комплекса. Бюджетных денег хватило на изготовление всего четырех опытных образцов линий: по производству детского творога на Тульском молкомбинате, линии розлива и упаковки жидких молочных продуктов детского питания в Краснодарском крае, линии зерномолочных смесей в Иваново и линии производства специальной стеклотары в Московской области. На этом эпопея производства отечественного оборудования для детского питания закончилась.

В настоящее время производство детских продуктов не покрывает самую минимальную потребность в них. В 2005 г. произведено 14,1 тыс. т сухих молочных смесей, а требуется их почти в два раза больше – 26 тыс. тонн. Выпуск жидких и пастообразных молочных продуктов составляет 8,3% от потребности, сухих смесей на злаковой основе – 27,5%, мясных консервов – 8,5% (табл. 3, 4). Недостающие объемы частично восполняются импортными продуктами, что на наш взгляд совершенно недопустимо. Они практически не сориентированы на метаболическую специфику, связанную с условиями проживания наших детей, предопределяемых социальными, климатическими и экологическими факторами. Причем завозят к нам зачастую устаревшую продукцию.

Таблица 3

Обеспеченность детей раннего возраста продуктами питания

Наименование продукции	Единица измерения	Потребность		Производство		Обеспеченность %	
		2004 г.	2005 г.	2004 г.	2005 г.	2004 г.	2005 г.
Смеси сухие молочные	тыс. т	25.2	26.0	12.4	14.1	49.2	54.2
Жидкие и пастообразные молочные продукты	тыс. т	1029.5	1039.8	101.4	101.2	9.8	10.01
Продукты сухие на злаковой основе	тыс. т	26.9	27.6	5.9	7.6	21.9	27.5
Мясные консервы	муб	135.9	141.6	11.6	12.1	8.5	8.54

Таблица 4

Производство продуктов детского питания (данные Госкомстата РФ)

Продукты питания	Единица измерения	1990 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.
Сухие молочные	тыс. т	17.80	4.30	5.60	8.30	10.40	12.4	14.10
Жидкие и пастообразные молочные продукты	тыс. т	63.5	179.2	189.8	194.1	182.7	101.4	104.2
Сухие молочные продукты на злаковой основе	тыс. т	29.5	4.90	6.30	7.50	7.90	5.90	7.60
Мясные консервы	муб	25.1	8.9	9.6	9.3	11.4	11.4	12.1

Износ основного технологического оборудования на предприятиях детского питания составляет от 55 до 70%, оно морально устарело. К сожалению, даже имеющееся производственное оборудование работает не на полную мощность (табл. 5).

В настоящее время на питание детей в школах выделяются от 1,5 до 10 руб. из местных бюджетов. При современных ценах на пищевые продукты надеяться на нормальное питание в школах не приходится. Для сравнения отметим, что на американского школьника выделяется в десятки раз больше, а ежедневным питанием по льготным ценам обеспечивается около 32 млн детей школьного и старшего дошкольного возраста. В ряде европейских стран (Финляндия, Эстония) вводится бесплатное школьное питание.

В целях коренного перелома неблагоприятной динамики в организации детского питания мы считали бы целесообразным в рамках национальных проектов разработать и принять новую целевую программу «Развитие индустрии детского питания на 2007–2025 годы», предусмотрев в ней задания по производству и закупкам специальной продукции, созданию современных мощностей и внедрению в производство продуктов питания для различных групп детского населения страны. Необходимо обязательно возродить подпрограмму по производству отечественного оборудования для пищевых

Таблица 5

**Использование производственных мощностей
в производстве продуктов детского питания за 2005 г.**

Виды продуктов детского питания	Среднегод. мощность	Выработано	% использования	Виды продуктов детского питания	Среднегод. мощность	Выработано	% использования
Жидкие и пастообразные молочные продукты, тыс. т	153.3	85.8	56	Сухие адаптированные молочные смеси, тыс. т	19.6	12.8	65.3
Сухие продукты на злаковой основе, тыс. т	8.7	5.5	63.3	Мясные консервы, муб	40	11.6	29.0

отраслей. Нельзя огромной стране, где функционируют десятки тысяч пищевых и перерабатывающих предприятий, работать на импортном оборудовании.

Необходимо значительно повысить доступность продуктов питания для всех слоев населения.

Без реальной государственной поддержки здесь нам не обойтись.

**ЗДОРОВЫЕ ГОРОДА – ЗДОРОВЫЕ ДЕТИ:
РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ НАУКИ
КАК ОСНОВА УКРЕПЛЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ ДЕТЕЙ,
ИХ ВСЕСТОРОННЕГО КУЛЬТУРНОГО
И ХУДОЖЕСТВЕННОГО ВОСПИТАНИЯ,
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА**

*Президент РААСН академик РААСН
А.П. Кудрявцев*

Разрешите мне от имени представителей научной и творческой деятельности в области архитектуры и градостроительства сердечно приветствовать участников нашего уникального научного форума. “Здоровье и образование детей” – эта проблема является одной из основных в перечне проблем, разрабатываемых РААСН. И это не случайно. Одна из главных задач архитектуры – это организация пространства для жизни человека. Человек рождается, растет, воспитывается и получает образование в окружении, созданном руками архитектора и строителя. И качество этого окружения постоянно воздействует на человека. Принц Чарльз – не архитектор, но тонкий наблюдатель, заметил: “Архитектура наших лечебных зданий могла бы сыграть куда большую роль в процессе излечения”.

Ребенок рождается творцом и начинает свою сознательную жизнь с попыток освоения окружающего его пространства. Его первые игрушки – это

кубики, с помощью которых он воспроизводит виденное. Детское творчество, эти неумелые, на взгляд взрослых, рисунки, которыми ребенок покрывает все, что попало, можно рассматривать как шалость, а можно (и нужно) как начало пути к самостоятельному взгляду на мир, как начало творчества. А начало творчества – это начало нравственного воспитания. Основатели педагогики – древние греки – были уверены, что практические знания без поддержки нравственными бесплодны.

Архитекторы давно и достаточно успешно делают попытки подхватить и развить то, что “от бога”. Так, в МАРХИ есть школа архитектурного развития для детей начальных классов и дошкольников. Аналогичные центры есть при всех 52 высших архитектурных школах России. Ежегодные фестивали “Зодчество” в разделе “Детское творчество” собирают работы десятков детских архитектурных школ, студий и специализированных классов из разных городов России. Московская студия “Старт” была удостоена Государственной премии Российской Федерации за работу по архитектурно-художественному творчеству детей.

Имея в виду исключительную актуальность проблем здоровья и образования детей, президиумы Академии архитектуры и строительных наук и Академии образования провели в феврале 2005 г. совместное заседание на тему: “Среда жизнедеятельности как необходимое условие физического и психического здоровья школьников”. В состоявшейся дискуссии были рассмотрены такие проблемы, как влияние школьной среды и ее архитектурно-пространственной организации на эффективность организации учебного процесса, отдыха и физкультурно-оздоровительной работы и необходимость создания здоровьесберегающей среды.

По данным мониторинга здоровьесберегающей инфраструктуры, проведенного одним из институтов РАО, только 22% школ имеют эти показатели. Особенно это касается сельских школ, составляющих $\frac{2}{3}$ всех школьных зданий. Отсюда актуальность разработки современной типологии сельских школ. Школа в селе должна быть не только образовательным центром, но и центром общественно-культурным. В инфраструктуре села особо важное место должны занимать школа, сельская больница или фельдшерский пункт. Именно они создают возможности для образования, воспитания и здоровья детей, а сельские учителя и врачи составляют интеллектуальную элиту сельского населения и им необходимо создать соответствующие условия для жизни, что должно стать особенностью типологии сельских школ и учреждений здравоохранения.

Одной из первостепенных задач является определение типологии школьных зданий, учитывающей современную методику образования и воспитания. В частности, архитектура “атриумных” школ, имеющих перекрытые внутренние дворы, предоставляет отличные возможности для общения, игровых и спортивных мероприятий для школьников и позволяет взять на себя функции прежних дворовых пространств. Некоторые примеры уже можно назвать, в частности, новые школьные комплексы в Иркутске (автор – член-корр. РААСН Е.И. Григорьева), общеобразовательная школа на ул. Щепкина и школа искусств в Выхино в Москве (автор – академик РААСН К.С. Шехоян), но пока это частные примеры, системная работа по формированию архитектурно-пространственной среды школьных зданий и комплексов пока не ведется.

Попробуем разделить неразделимые в жизни “мир детей” и “мир взрослых”. “Мир взрослых” – это промышленные и аграрные комплексы, предприятия, учреждения сферы отдыха, спорта, развлечений и т.д. “Мир детей” – это детские сады и ясли, школы, дома творчества (бывшие дворцы пионеров), библиотеки, детские театры, загородные базы отдыха (летние лагеря), стадионы и спортивные площадки, детские поликлиники и больницы, кино, театры и многое другое. Набор этих объектов, составляющих среду жизнедеятельности, во многом совпадает со “взрослыми”, но все они имеют особую специфику – это для детей. “Мир детей” должен гармонизироваться с “миром взрослых” в планах градостроительного развития территорий от региона до городского или сельского населенного пункта. Отсюда необходимость внимательнейшим образом определять специфику “мира детей” и отражать ее в проектах и постройках. Причем, эта специфика не остается неизменной. Так, как были запроектированы здания и сооружения для детей 2–3 десятка лет назад, уже не подходит к нынешнему поколению, потому что тогда были классная доска и мел, а сейчас – компьютеры, тогда школьные учебные программы и методика преподавания были одни, а теперь другие, тогда система воспитания была одна, а сейчас – иная. Поэтому нужны новые принципы пространственной организации “мира детей”. Сегодня нужно проектировать многофункциональные комплексы, имеющие возможность трансформации в зависимости от изменений в учебном процессе. И такие школьные комплексы уже появляются. Однако необходимы новые стандарты детских учреждений, обеспечивающие оптимальное духовное и физическое развитие детей, и они могли бы быть разработаны совместными усилиями наших академий. Нужна новая современная типология зданий и сооружений для детей, и ее следует разрабатывать в рамках программ национального проекта доступного жилья, потому что строительство жилья должно сопровождаться всей необходимой инфраструктурой. Отсюда необходимость создания типологических институтов массовых жилых и общественных зданий, учреждений здравоохранения, в которых будет вестись системная научно-практическая работа по формированию новых типологических стандартов. Их деятельность должна координироваться и направляться научным центром – Академией.

Здоровье детей также непосредственно связано с архитектурно-пространственной организацией не только детских учреждений здравоохранения, но и всех видов детских учреждений, в которых комплексно и всесторонне должны решаться вопросы экологии, эргономики, травматической безопасности, особенности психологии детей. В связи с развитием медицины для детей, новыми подходами к их лечению, новым оборудованием необходимо проектирование новых типов детских больниц, санаториев, школ для детей-инвалидов и детей, имеющих хронические заболевания с учетом формирования среды для реабилитации и “безбарьерной среды”. Сегодня практически отсутствуют специально спроектированные интернаты для слепоглухонемых детей, детей с болезнью Дауна, полиомиелитом и другими заболеваниями. Все подобные учреждения находятся в приспособленных типовых школах и общежитиях, а для этих категорий детей, которых становится все больше, необходима специальная пространственная среда, обеспечивающая их нормальное существование и вхождение в цивилизованное

общество. Уникальным примером отражения “мира детей” с ослабленным состоянием психики является школа для аутентичных детей, спроектированная архитектором А.А. Черниковым.

Сегодня мы живем в агрессивном мире. Агрессия захватила и сферу детства. Возникает острая необходимость в создании сети детских домов и приютов нового типа, а разработка специальных сооружений для размещения в них бездомных и беспризорных детей практически отсутствует. Правда, появились первые попытки создания “семейных” детских домов, но ни общество, ни государство не проявили к ним интереса. Требуется разработка стандартов такого рода детских учреждений, пространственная организация которых соответствовала бы принципам воспитания детей и подростков.

Особый тип учреждений – “корпоративные” детсады нефтяников и газовиков (не говоря об элитарных). Их проекты могли бы быть использованы для создания яркой эмоциональной архитектуры и современных дизайнерских решений. Особое внимание – среда для воспитания “трудных детей”. Организация системы “пенитенциарных” учреждений для детей и подростков, проектирование и строительство таких комплексов должны стать одной из важных задач. Отсутствие комплексной системы формирования среды перевоспитания малолетних преступников, в создании которой могли бы участвовать архитекторы, медики, педагоги, психологи, а также ответственные за это дело, приводит к тому, что из стен подобных заведений выходят не перевоспитанные и адаптированные к цивилизованной жизни молодые люди, а кандидаты для вхождения в преступный мир взрослых. Эта сфера “мира детей” нуждается в развернутой программе, соединяющей государственные, благотворительные и частные ресурсы.

Говоря о “мире детей”, мы прекрасно понимаем, что барьеров между “миром детей” и “миром взрослых” практически не существует. Поэтому, обращая особое внимание на проблемы подрастающего поколения, мы должны параллельно совершенствовать всю среду жизнедеятельности человека и общества, социальные взаимоотношения, экономику, моральные устои общества, его интеллектуальный уровень. Обнародованные сегодня приоритетные национальные проекты по жилищу, здравоохранению, образованию, сельскому хозяйству могут быть реализованы только при условии их пространственной координации, объединяющей реальные программы их выполнения при обязательном научном сопровождении. Не случайно эти проекты соответствуют основным направлениям деятельности государственных отраслевых академий.

Итак, сделаем некоторые выводы:

Будущее России зависит от того, какие условия мы создаем сегодня для новых поколений ее граждан. Создание нормальных, цивилизованных условий для здоровья, образования и воспитания детей – задача комплексная, требующая совместных усилий государства, науки, экономики, общественного внимания. Системное решение этой задачи возможно с привлечением частной благотворительности путем создания частно-государственных предприятий. Государство через законы, нормы и программы должно формировать, финансировать, контролировать создание и поддержание нормальных условий жизни подрастающего поколения и всей необходимой инфраструктуры.

Создание условий для здоровья, образования, воспитания детей должно начинаться с создания материальной базы: родильных домов, детских садов, школ, интернатов, баз спорта и отдыха, домов творчества, больниц, санаториев, трудовых лагерей – словом всех составляющих жизненной среды, в которой рождается, растет и воспитывается ребенок. Для ее нормального создания требуется целенаправленная проектная и строительная работа, обеспеченная необходимым финансированием и материальной базой. Важным условием ее реализации может стать серия архитектурных конкурсов на проекты образцовых детских учреждений, разработку условий которых могла бы взять на себя РААСН вместе с Союзом архитекторов России и другими отраслевыми академиями. Создание новых проектов, основанных на требованиях современной методики обучения, здравоохранения, эстетики, духовного воспитания и их реализация должны стать приоритетным направлением работы архитектурно-строительного комплекса страны во взаимодействии с академической наукой. И в основе этого процесса должна быть научно обоснованная реализуемая через стратегические планы, законы, нормы, государственная градостроительная политика, которая является фундаментом формирования всей жизненной среды человека и общества в целом.

Создание материальной среды для детей должно основываться на специально разработанных стандартах и нормативах, базирующихся на современной методике образования и воспитания. В разработке этих нормативов по государственным заказам должны принять участие государственные отраслевые академии. Возможно, что эта работа должна быть включена в планы НИР академий в качестве специальных разделов и деятельность академий в этом направлении должна быть скоординирована.

“Мир детей” не может существовать отдельно от “мира взрослых”. Поэтому наша задача – формирование среды жизнедеятельности человека и общества в целом. В числе основных действий в этом направлении можно назвать приоритетные национальные проекты, связанные с созданием комфортного и доступного жилища, с здравоохранением, образованием, сельским хозяйством. Необходима координация пространственной организации всех этих систем. Участие отраслевых академий в научном сопровождении этих проектов должно быть систематичным и целенаправленным, для этого целесообразно создать специальный Координационный совет при Минрегионе РФ, способный оказать действенную помощь государственным органам в реализации этих проектов.

САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЕ БЛАГОПОЛУЧИЕ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ: СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Академик РАМН Г.Г. Онищенко

В Российской Федерации состояние здоровья детей и подростков характеризуется тенденцией к росту заболеваемости по ряду нозологических форм, значительной распространенностью хронических заболеваний, снижением качества здоровья детей.

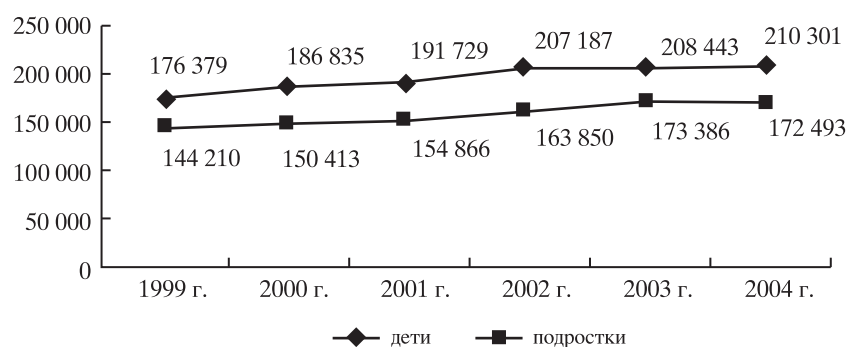


Рис. 1. Общая заболеваемость детей (0–14 лет) и подростков (15–17 лет) за последние пять лет (в расчете на 100 000 человек)

По данным официальной статистики общая заболеваемость детей (0–14 лет) возросла за последние пять лет на 16% (показатель 2005 г. – 171 278 на 100 тысяч детей), подростков – на 18% (рис. 1).

Продолжается рост показателей болезней крови и кроветворных органов, анемий, болезней органов дыхания, мочеполовой системы, нервной системы, врожденных аномалий. Сохраняются высокие уровни алиментарно-зависимых заболеваний (гастриты и дуодениты, болезни желчного пузыря и желчевыводящих путей, сахарный диабет).

Обращают на себя внимание значительные различия (до 20–80%) в уровнях заболеваемости по отдельным федеральным округам, что требует проведения специальных исследований.

Серьезные нарушения в состоянии здоровья установлены среди наиболее уязвимой группы населения – детей первого года жизни, у которых железодефицитные анемии выявлены у 30–50% обследованных, пищевая аллергия – у 20–30, гипотрофия и рахит – у 5–10%.

По данным Всероссийской диспансеризации детей 2002 г., доля здоровых детей по сравнению с предыдущей диспансеризацией снизилась с 45 до 34%, вдвое увеличился удельный вес детей, имеющих хроническую патологию, и инвалидов, низким остается удельный вес детей с I и II группой здоровья.

Проведенные исследования показали, что количество детей в возрасте 6–7 лет, не готовых к систематическому обучению, превышает 32%.

Отмечается ухудшение показателей физического развития, нарастание процессов децелерации. Частота низкой массы тела у детей и ее дефицит выявляются в 3 раза чаще, чем десять лет назад.

Наряду с причинами социально-экономического характера все это обусловлено негативным влиянием факторов окружающей среды, серьезными недостатками в организации питания, неблагоприятными в ряде случаев условиями воспитания и обучения, не соответствующими гигиеническим нормативам и санитарным правилам, в том числе интенсификацией учебного процесса, распространением вредных привычек.

Тревожная ситуация сложилась с распространением среди детей и подростков злоупотребления алкоголем, курения, потребления наркотических средств.

Показатель злоупотребления алкоголем при этом достиг 1270 на 100 тыс. подростков и вырос по сравнению с 1999 г. более чем на 60%.

По данным репрезентативной национальной выборки к 11-му классу курят более 60% мальчиков и 40% девочек, в 13–15 лет – 25,4 и 20,9% соответственно.

В связи с этим в 2004 г. в России введены новые более жесткие гигиенические нормативы содержания смолы и никотина в табачных изделиях, в 2004 и 2006 гг. внесены изменения и дополнения в Федеральный закон “Об ограничении курения”, предусматривающие некоторые меры по ограничению доступности табачных изделий для детей и подростков. В 2005 г. издан Федеральный закон “Об ограничении розничной продажи и потребления (распития) пива и напитков, изготовленных на его основе”. Однако эти проблемы далеки от разрешения.

В сложившихся условиях сохранение и улучшение здоровья детей является важнейшей государственной задачей. При этом обеспечение их санитарно-эпидемиологического благополучия представляет одну из основных составляющих в ее решении.

В последнее время заинтересованными федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органами управления здравоохранения, подразделениями Роспотребнадзора осуществлен ряд организационных и практических мероприятий.

Дальнейшее развитие получила нормативная база. В 2002–2005 гг. введены следующие санитарные правила и нормы:

- СанПиН 2.4.2.1178-02 “Гигиенические требования к условиям обучения в общеобразовательных учреждениях”;
- СанПиН 2.4.7.1166-02 “Гигиенические требования к изданиям учебным для общего и начального профессионального образования”;
- СанПиН 2.4.1.1249-03 “Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации режима работы дошкольных образовательных учреждений”;
- СанПиН 2.4.4.1204-03 “Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации работы загородных стационарных учреждений отдыха и оздоровления детей”;
- СанПиН 2.4.1201-03 “Гигиенические требования к устройству, содержанию, оборудованию и режиму работы специализированных учреждений для несовершеннолетних, нуждающихся в социальной реабилитации”;
- СанПиН 2.4.3.1186-3 “Санитарно-эпидемиологические требования к организации учебно-производственного процесса в образовательных учреждениях начального профессионального образования”;
- СанПиН 2.5.1277-03 “Санитарно-эпидемиологические требования к перевозке железнодорожным транспортом организованных детских коллективов”;
- СанПиН 2.4.7/1.1.1286-03 “Гигиенические требования к одежде для детей, подростков и взрослых”;
- СанПиН 2.3.2.1940-05 “Организация детского питания”.

Введенные в действие санитарные правила позволяют при безусловном их выполнении исключить или снизить до минимума воздействие негативных

факторов, возникающих в процессе воспитания, обучения и отдыха детей и подростков.

В связи с выходом Федерального закона “О техническом регулировании” ведется разработка проектов федеральных законов – технических регламентов: “Санитарно-эпидемиологические требования к производству и обороту продуктов детского питания и их пищевой ценности”, “О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков”.

Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации за последние три года издано 18 постановлений по различным аспектам санитарно-эпидемиологического благополучия детей и подростков, в том числе от 16.05.2005 “О первоочередных мероприятиях по профилактике заболеваемости детского населения страны”.

Совместно с Минобразованием России, Госкомспортом России, Федеральным агентством по печати и массовым коммуникациям, ФСКН и МВД России принимаются меры по разработке и реализации обучающих программ, внедрению методологических документов по совершенствованию процессов физического воспитания школьников, развитию информационно-пропагандистской системы, направленной на распространение среди детей и подростков знаний о мерах профилактики ВИЧ-инфекции, наркомании, алкоголизма, пропаганду здорового образа жизни, разработаны рекомендации об организации работы по предупреждению и пресечению правонарушений, связанных с незаконным оборотом наркотиков в общеобразовательных учреждениях.

Практически во всех субъектах Российской Федерации реализуются, хотя и при недостаточном финансировании, региональные и муниципальные программы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, в которых значительное внимание уделяется мероприятиям, направленным на создание надлежащих условий содержания, воспитания и обучения детей в дошкольных и образовательных учреждениях.

Повышение эффективности государственного санитарно-эпидемиологического надзора за соблюдением санитарных правил и гигиенических нормативов в детских дошкольных и образовательных учреждениях, значительное увеличение доли обследования с применением лабораторных и инструментальных методов способствовали улучшению материально-технической базы этих учреждений, а также основных показателей, характеризующих состояние внутришкольной среды (табл. 1).

Вместе с тем следует признать недостаточность достигнутых результатов.

Сохраняется тенденция сокращения количества детских дошкольных и образовательных учреждений, особенно в сельской местности, что приводит к их переуплотнению, способствующему возникновению и распространению инфекционных заболеваний.

Многие дошкольные учреждения были закрыты из-за ухудшения экономического положения ряда промышленных предприятий, проданы или переданы в аренду частным структурам, перепрофилированы для других целей. Количество детей, нуждающихся в устройстве в эти учреждения, с 2001 по 2005 г. увеличилось с 238 до 805 тыс.

Таблица 1

Основные показатели, характеризующие состояние внутришкольной среды

Факторы среды обитания	Удельный вес учреждений, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормативам				
	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.
Уровень ЭМИ	37.9	30.2	27.4	22.5	21.6
Освещенность	26.6	25.3	24.8	22.9	20.1
Микроклимат	17.8	17.1	16.4	14.6	10.9
Уровень шума	7.8	9.2	8.2	8.2	4.9
Мебель, соответствующая росто-возрастным особенностям детей	23.2	20.8	19.9	17.4	16.2

Сократилось также количество образовательных учреждений. Многие школы по-прежнему работают в 2 и даже в 3 смены (г. Воронеж – 74% школ работает в 2 смены, Ханты-Мансийский АО – 57% школ работает в 3 смены).

Положение усугубляется в связи с тем, что многие образовательные учреждения располагаются в помещениях, не отвечающих гигиеническим требованиям.

Проводимая в последние годы модернизация образования (разработка государственных образовательных стандартов, внедрение инновационных форм обучения, переход на профильное обучение) направлена на уменьшение негативного влияния его на здоровье школьников. Разработаны и обоснованы требования по санитарно-эпидемиологической безопасности к допустимой учебной нагрузке для детей дошкольного и школьного возраста.

Однако эти требования зачастую не выполняются, что создает дополнительные риски для здоровья детей и подростков.

В результате проведения гигиенических исследований установлено, что реализация большинства учебных программ сопровождается интенсификацией учебного процесса, широкой компьютеризацией обучения, увеличением суммарной учебной нагрузки, снижением физической активности. Возросшие учебные нагрузки на школьников нередко в несколько раз превышают их возможности.

Большинство школ работают по 5-дневной учебной неделе, тогда как школьные планы все еще рассчитаны на 6-дневную неделю, при этом возрос объем учебного материала. Ежедневное количество уроков в начальной школе достигло 6, в средних и старших классах – 8. Учебный день школьников младших классов достигает 10 часов, старших – 12–15 часов.

Нехватку времени школьники компенсируют за счет сокращения сна и уменьшения двигательной активности, что негативно сказывается на состоянии их здоровья.

По данным ФНЦ гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, нарушения режима обучения школьников лишь на 15% сопровождаются негативными изменениями функции нервной системы и повышением дезадаптации сердечно-сосудистой системы.

Установлены также изменения нервных процессов на 11–18% у второклассников, обучающихся во 2-ю смену.

Повышенные учебные нагрузки уже в детском возрасте формируют патологию сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата, приводят к нарушениям осанки, снижению зрения.

Положение усугубляется в связи с тем, что от 25 до 40% учащихся школ и профтехучилищ подрабатывают в каникулярное время или совмещают работу с учебой. При этом многие из них заняты на запрещенных для подростков видах работ (мойка и заправка автотранспорта, погрузочно-разгрузочные и другие виды работ). В 2005 г. около половины подростков трудились под воздействием повышенного уровня шума, ультразвука и инфразвука, 43% – в условиях повышенной загазованности, 17,6% были заняты на тяжелых физических работах.

Все это требует тщательного проведения санитарно-эпидемиологических экспертиз всех учебных программ, усиления действенности госсанэпиднадзора за выполнением требований санитарного законодательства при организации обучения и работы школьников, усиления взаимодействия с региональными органами образования и местного самоуправления. Соответствующие поручения даны руководителям всех подразделений Роспотребнадзора.

Реализация Федерального закона “О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения”, соответствующих региональных программ, “Национального плана действий по охране окружающей среды”, повышение требовательности учреждений Федеральной службы к руководителям предприятий и организаций за соблюдением санитарного законодательства способствовали лишь некоторой стабилизации показателей, характеризующих состояние окружающей среды и в первую очередь атмосферного воздуха и питьевой воды.

Вместе с тем позитивные сдвиги не привели к коренному изменению ситуации, в связи с чем значительная часть населения, особенно в крупных городах, находится под воздействием повышенных по сравнению с гигиеническими нормативами концентрацией вредных веществ.

В результате во многих индустриальных городах по-прежнему регистрируется высокий уровень заболеваемости детей бронхиальной астмой. При средней частоте ее в целом по стране около 4,0 на 1000 детей в этих городах она составляет 8–10,0, что является чувствительным биологическим маркером загрязнения атмосферного воздуха. В этих же городах отмечается увеличение продолжительности течения респираторных заболеваний у детей.

Медленно улучшается качество питьевой воды, что связано с продолжающимся загрязнением источников водоснабжения, несовершенством технологий водоочистки, несвоевременной реконструкцией и ремонтом разводящих сетей. В 2005 г. 19% исследованных проб питьевой воды не соответствовали нормативам по санитарно-химическим показателям и 7,1% – по микробиологическим. Наряду с этим в ряде регионов в питьевой воде имеет место недостаток биогенных элементов (йода, фтора и др.), что обуславливает повышенный уровень заболеваемости детей эндокринной системы, кариесом и другими болезнями.

Ежегодно в стране регистрируется более 20 вспышек острых кишечных инфекций и вирусного гепатита А, связанных с водным фактором передачи, во время которых в большей степени страдает детское население.

В 2002 г. издано постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации “О коррекции качества питьевой воды по содержанию биогенных элементов”, предусматривающее организацию производства физиологически полноценных расфасованных питьевых вод высшей категории качества.

В настоящее время завершается подготовка проекта “Национального плана действий по предупреждению вредного влияния факторов окружающей среды на здоровье во имя будущего детей и подростков на 2007–2010 годы”.

Одной из важнейших проблем, определяющих здоровье детей, является организация их питания и в первую очередь в детских дошкольных и общеобразовательных учреждениях.

Проводимые ежегодные эпидемиологические исследования выявляют значительные нарушения, связанные как с несоответствием между калорийностью потребляемой пищи и фактическими энерготратами, так и с разбалансировкой рациона по основным пищевым веществам. Вследствие этого около 10% детей имеют сниженные антропометрические характеристики, около 7% страдают ожирением. В большинстве регионов рационы питания недостаточны по содержанию большинства витаминов, макро- и микронутриентов. На протяжении ряда лет среди детей и подростков отмечается рост распространенности алиментарно-зависимых заболеваний – анемий, болезней желудочно-кишечного тракта и желчевыводящей системы.

С учетом создавшегося положения был принят ряд мер, направленных на повышение качества и безопасности пищевых продуктов.

Реализация “Концепции государственной политики в области здорового питания населения Российской Федерации на период до 2005 года”, Постановления Правительства “О мерах по профилактике заболеваний, обусловленных дефицитом йода и других микронутриентов”, Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации “О дополнительных мерах по профилактике заболеваний, обусловленных дефицитом микронутриентов” способствовали значительному расширению производства пищевых продуктов, обогащенных витаминами и микронутриентами, в том числе молочных продуктов, соков, хлеба и хлебобулочных изделий. Практически повсеместно налажено обеспечение детских дошкольных и общеобразовательных учреждений йодированной солью. Увеличился в ряде территорий охват школьников горячим питанием.

При осуществлении мониторинга за качеством и безопасностью пищевых продуктов, учреждениями Роспотребнадзора ежегодно проводится более 1,5 млн исследований по санитарно-химическим и более 2 млн исследований по санитарно-микробиологическим показателям.

За последние пять лет число неудовлетворительных проб готовых блюд в детских дошкольных и общеобразовательных учреждениях по указанным показателям значительно сократилось.

Вместе с тем проблема организации питания детей, особенно школьников, все еще далека от полного решения и требует принятия кардинальных мер по исправлению сложившегося положения.

В настоящее время охват учащихся горячим питанием составляет в среднем по стране только 63%. Школьные меню разрабатываются с учетом

стоимости продуктов питания, а не физиологических потребностей детей в биологически ценных веществах. Крайне недостаточно осуществляется обеспечение школьников продуктами, обогащенными витаминами и микронутриентами. Большинство пищеблоков имеют слабую материально-техническую базу, высокой остается изношенность технологического и холодильного оборудования. Продолжают регистрироваться вспышки кишечных инфекций и пищевые отравления, обусловленные нарушениями санитарно-противоэпидемического режима и производственной дисциплины.

В связи с вышеизложенным, в августе текущего года издано Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации “Об организации питания детей в общеобразовательных учреждениях”, в котором органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации, Минобрнауки России определены конкретные меры по обеспечению школьников горячим питанием, продуктами питания, обогащенными микронутриентами, реорганизации системы питания на основе использования современных технологий производства и транспортировки пищевых продуктов, оптимизации рационов питания.

Завершается подготовка проекта 2-го этапа Концепции государственной политики в области здорового питания для внесения в Правительство Российской Федерации.

В сентябре текущего года на Ученом совете Роспотребнадзора рассмотрен вопрос о безопасности пищевых продуктов на современном этапе. Решением Совета определены основные направления научных исследований в этой области.

В течение 2006 г. дополнительной иммунизации в Российской Федерации подлежали:

- против вирусного гепатита В 10 млн детей от 1 года до 17 лет, ранее не привитых;
- против краснухи 5 млн детей 5, 6 и 7 лет, а также в возрасте от 14 до 17 лет, не болевших и не привитых ранее против краснухи;
- против полиомиелита инактивированной вакциной 150 тыс. детей раннего возраста;
- против гриппа 22 млн человек: дети, посещающие дошкольные учреждения, учащиеся 1–4 классов, медицинские работники, работники образовательных учреждений и взрослые старше 60 лет.

Снижение инфекционной заболеваемости, и, прежде всего среди детей, является существенным резервом сокращения смертности и увеличения продолжительности жизни. По данным эпидемиологов США, достижения в деле борьбы с инфекционными заболеваниями в XX в. позволили увеличить продолжительность жизни почти на 25 лет.

В настоящее время инфекционные болезни составляют до 70% в структуре заболеваемости и около 80% в структуре младенческой смертности.

В 2005 г. в стране зарегистрировано более 400 тыс. случаев инфекционных и паразитарных заболеваний детей (без гриппа и ОРВИ), в том числе 100 тыс. инфекциями, управляемыми средствами специфической профилактики, и 300 тыс. – острыми кишечными инфекциями. Суммарные экономические потери составили 3,6 млрд руб., в том числе от ОКИ – 3,1 млрд руб.

На саммите лидеров “Группы Восьми” было отмечено, что решительное противодействие угрозе инфекционных заболеваний – ведущей причине смертности в мире – жизненно необходимо для глобального развития и благосостояния человечества.

Было принято решение о достижении конкретных результатов в области укрепления международного сотрудничества в части надзора и мониторинга за инфекционными болезнями; интенсификации научных исследований; поддержки усилий соответствующих международных организаций, направленных на эффективное противодействие вспышкам гриппа птиц и подготовку к возможной пандемии; усиления мер в отношении ВИЧ/СПИДа, туберкулеза и малярии; совершенствования доступа населения к профилактике и лечению инфекционных болезней; предотвращения эпидемических последствий стихийных бедствий и техногенных катастроф и борьба с ними.

В Российской Федерации в последние годы достигнуты существенные успехи в снижении инфекционной заболеваемости среди детей по всем нозологическим формам, путем использования мер специализированной профилактики. Только в 2005 г. число больных дифтерией сократилось по сравнению с 2004 годом на 30,6%, корью – в 5,6 раза, коклюшем – в 2,4 раза, эпидемическим паротитом – на 28,6%.

Это обусловлено улучшением всей системы иммунизации и в первую очередь за счет поддержания высокого уровня охвата детей профилактическими прививками, составляющего по большинству инфекций 96–98%.

В 2005 г. в стране начался второй этап (2005–2007 гг.) программы ликвидации кори.

Для успешной реализации программы на 1-м этапе на базе Московского НИИЭМ создан национальный научно-методический центр по надзору за корью, являющийся региональной лабораторией ВОЗ для стран СНГ, образована сеть региональных лабораторий, разработан пакет нормативно-методических документов.

Оценивая заболеваемость этой инфекцией, в настоящее время можно говорить о сложившейся устойчивой эпидемической ситуации.

В минувшем году зарегистрировано лишь 454 случая заболевания, в 51 субъекте Российской Федерации корь не регистрировалась, а в 34 – показатель не превысил один случай на 100 тыс. населения.

Вместе с тем следует отметить и нерешенные вопросы. Экспертами ЕРБ ВОЗ установлен регламентированный показатель элиминации кори в Европейском регионе менее одного случая на миллион населения, тогда как в России он все еще составляет 3,2 случая.

Наметилась выраженная тенденция “повзроslения” кори. Доля лиц старше 14 лет достигла 80%. Среди заболевших привитые ЖКВ составляют 20%, при этом 10–20% получили прививку менее года назад, что вызывает особую тревогу.

Возросла роль завозных случаев в формировании очагов кори, особенно в приграничных районах. На основе молекулярно-генетических методов исследования циркулирующих среди населения штаммов вируса установлено, что преобладающими являются штаммы подтипов генотипа D6, распространенные на Украине, где в последние два года заболеваемость приобрела эпидемический характер: за 6 месяцев 2006 г. заболело более 30 тыс. человек.

В связи с изложенным перед нами стоит важная задача усовершенствования тактики вакцинопрофилактики кори в условиях спорадической заболеваемости, влияния механизмов формирования и поддержания гуморального и клеточного специфического иммунитета при отсутствии бустер-эффекта, разработки простых методов оценки клеточного иммунитета и выявления вируснейтрализующих антител.

В полном объеме осуществляется комплекс мероприятий, направленных на поддержание статуса Российской Федерации, свободной от полиомиелита, вызванного дикими полиовирусами, в том числе ежегодное проведение туровой иммунизации детей в возрасте до 5 лет в Республике Ингушетия и Чеченской Республике.

Введение в национальный календарь прививок против вирусного гепатита В и краснухи способствовало резкому снижению заболеваемости этими инфекциями.

Число больных ВГВ среди детей до 14 лет в 2005 г. сократилось по сравнению с 2002 г. в 3 раза.

В 2006 г. внесено изменение в Федеральный закон “Об иммунизации инфекционных болезней” в части включения в национальный календарь профилактических прививок иммунизации населения против гриппа.

В рамках реализации подпрограммы “Вакцинопрофилактика” Федеральной целевой программы “Предупреждение и борьба с заболеваниями социального характера” завершается разработка вакцин против гемофильной инфекции и краснухи, ведется разработка бесклеточной вакцинации против коклюша, проводятся мероприятия по созданию стабильной температуры при транспортировке и хранении медицинских иммунобиологических препаратов, оснащению современным оборудованием региональных вирусологических лабораторий, участвующих в программе ликвидации кори, внедрению компьютерной системы мониторинга и эпиданализа инфекционных заболеваний.

Особое значение имеет реализация Приоритетного национального проекта в сфере здравоохранения, включающего дополнительную иммунизацию населения и в первую очередь детей против ВГВ, краснухи, гриппа и полиомиелита (рис. 2).

При разработке указанного проекта учитывалось:

- большое количество детей и подростков, не привитых ранее против ВГВ в рамках национального календаря из-за нехватки ассигнований на приобретение вакцин;
- высокий уровень заболеваемости краснухой, отсутствие производства отечественной вакцины и как следствие этого накопление большого количества лиц, не болевших и не привитых против этой инфекции, а также необходимость ликвидации врожденной краснухи;
- необходимость иммунизации детей с хронической патологией инактивированной вакциной, у которых проведение прививок живой полиомиелитной вакциной может привести к серьезным осложнениям, в том числе к развитию вакциноассоциированного паралитического полиомиелита (в Российской Федерации инактивированная вакцина не производится);
- двукратное сокращение числа привитых против гриппа в период с 2002 по 2005 г. в связи с прекращением в 2001 г. закупок вакцин за счет средств федерального бюджета.

**Цель дополнительной иммунизации – снижение заболеваемости
к 2008 году:**

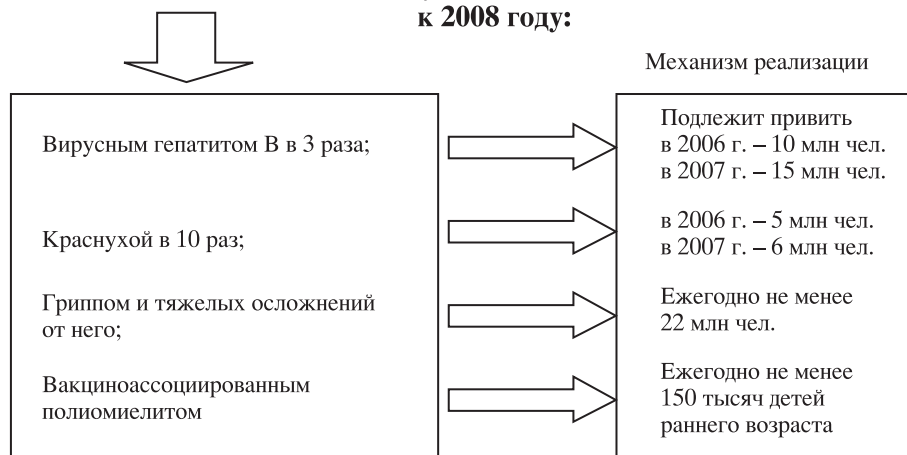


Рис. 2. Приоритетный национальный проект в сфере здравоохранения

В текущем году в рамках Приоритетного национального проекта выделено 4,1 млрд руб. для закупок вакцин с целью иммунизации против ВГВ 10 млн детей и подростков, 5 млн детей против краснухи, 150 тыс. детей против полиомиелита инактивированной вакциной, 22 млн человек против гриппа, в том числе детей, посещающих дошкольные учреждения и учащихся 1–4 классов.

Особое значение придается нами профилактике ВИЧ-инфекции среди детей.

По состоянию на 01.09.2006 в стране зарегистрировано 348 787 случаев ВИЧ-инфекции, из них более 15 тыс. среди детей. В общей структуре заболевших постоянно увеличивается доля женщин детородного возраста, которая достигла 43%, а в отдельных регионах – 50%.

Как следствие этого, выявляемость среди беременных женщин возросла с 300 случаев в 2000 г. до 6039 в 2005 г.

Количество детей, рожденных ВИЧ-инфицированными матерями, превысило 15 тыс., из них более тысячи оставлены в учреждениях родовспоможения.

В связи с этим при разработке Приоритетного национального проекта в сфере здравоохранения в разделе “Профилактика ВИЧ-инфекции, вирусных гепатитов В и С, выявление и лечение ВИЧ” в качестве важнейших компонентов предусмотрены мероприятия по медикаментозной профилактике вертикальной передачи инфекции от матери ребенку, проведению ранней диагностики ВИЧ-инфекции у детей, рожденных ВИЧ-инфицированными матерями, разработке и реализации профилактических инфекционных программ.

В 2006 г. в рамках Приоритетного национального проекта выделяется 1,6 млрд руб. на закупку антиретровирусных препаратов, при этом в первую очередь будут осуществлены закупки препаратов для профилактики вертикальной передачи инфекции у 6 тысяч беременных ВИЧ-инфициро-

ванных женщин, у которых согласно составленному прогнозу беременность завершится родами.

Заболеваемость острыми кишечными инфекциями, в том числе у детей, остается в целом стабильной, но ее уровень является недопустимо высоким. В 2005 г. зарегистрировано 82 вспышки, в том числе 39 – в детских дошкольных, образовательных и оздоровительных учреждениях с числом пострадавших около 1,5 тыс. детей.

Этому способствуют серьезные недостатки в обеспечении населения доброкачественной питьевой водой; нарушения санитарно-противоэпидемического режима и технологической дисциплины на предприятиях по производству и реализации продуктов питания, пищеблоках детских дошкольных и образовательных учреждений; недостаточный уровень знаний населения, в том числе работников пищевых объектов, о мерах личной и общественной профилактики этих инфекций. Все это способствует возникновению вспышек дизентерии, сальмонеллеза, вирусного гепатита А пищевого и водного характера.

Серьезной проблемой остается этиологическая расшифровка острых кишечных инфекций, удельный вес ОКИ неустановленной этиологии в 2005 г. составил среди детского населения более 60%.

Возрастает роль неполиомиелитных энтеровирусов в структуре детских инфекций, которые вызывают как спорадические заболевания (гастроэнтериты, увеиты и септические менингиты), так и эпидемические вспышки. В августе-сентябре текущего года крупные вспышки энтеровирусной инфекции зарегистрированы в Хабаровском крае с числом пострадавших около 1500 человек.

Несмотря на такое положение, до сих пор отсутствуют официальная регистрация и государственный учет этих заболеваний, практически не проводятся научные исследования по вопросам диагностики, эпидемиологии и профилактики энтеровирусных инфекций.

Основные направления деятельности по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия предусматривают:

1. Дальнейшее совершенствование нормативной и методической базы, в том числе:

- разработка технических регламентов, содержащих основные гигиенические требования к организации воспитания и обучения детей, безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков, производству и обороту продуктов детского питания и их пищевой ценности;

- разработка СанПиН “Организация питания дошкольного и школьного возраста”;

- подготовка методических документов по проведению санитарно-эпидемиологической экспертизы учебных программ, методов и режимов обучения и воспитания детей и подростков;

- разработка методических указаний по оценке риска развития алиментарно-зависимых заболеваний на основе потребления пищевых продуктов и пищевых веществ;

2. Завершение разработки и внесение на утверждение в Правительство Российской Федерации:

- проекта “Основ государственной политики в области здорового питания населения Российской Федерации на период 2007–2010 гг.”;

- “Национального плана действий по предупреждению вредного влияния окружающей среды на здоровье во имя будущего детей и подростков на 2007–2010 гг.”;

3. Обеспечение реализации Приоритетного национального проекта в сфере здравоохранения, включающего дополнительную иммунизацию детей против ВГВ, краснухи, полиомиелита и гриппа; профилактику ВИЧ-инфекции, вирусных гепатитов В и С, выявление и лечение ВИЧ;

4. Реализация Программы ликвидации кори в Российской Федерации;

5. Развитие системы социально-гигиенического мониторинга для определения на научной основе факторов риска для здоровья детей, проведения ранжирования медико-экологических проблем по степени их значимости и определения приоритетов деятельности по минимизации и устранения рисков;

6. Внесение соответствующих коррективов в действующие федеральные и региональные программы обеспечения санэпидблагополучия с учетом полученных в последнее время данных соцгигмониторинга здоровья детей и влияющих на него факторов риска;

7. Внедрение в общеобразовательных учреждениях учебных профилактических программ с целью формирования у детей и подростков навыков здорового образа жизни, сознательного отношения к своему здоровью и здоровью окружающих;

8. Создание постоянно действующей информационно-пропагандистской системы с широким использованием федеральных и региональных средств массовой информации в целях снижения распространения негативных стереотипов среди подростков (табакокурение, употребление алкогольных напитков, наркотических веществ) и профилактики заболеваний;

9. Повышение эффективности госсанэпиднадзора за соблюдением санитарного законодательства с внедрением новых технологий и оптимизацией лабораторных исследований;

10. Расширение научных исследований по разработке критериев оценки адаптационных возможностей детей и подростков к воздействию факторов окружающей и производственной среды, учебной нагрузки и разработке мероприятий по снижению вредного воздействия на их здоровье.

***Научные предпосылки выхода России
из демографического кризиса,
развития национальных приоритетных проектов
в сфере здравоохранения, образования,
сельского хозяйства и обеспечения доступного жилья***

**ДЕМОГРАФИЯ СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ
ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ**

Профессор В.Г. Костаков

**ДЕМОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКТОР
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
В БЛИЖАЙШЕЙ ПЕРСПЕКТИВЕ**

В стране сложилась необычная для мирного развития ситуация: с 1994 г. численность населения сокращается, а с 2006 г. сокращается и население трудоспособного возраста. Официальные и неофициальные прогнозы свидетельствуют о долговременности данной тенденции. Если ничего кардинально в демографии не изменится, то в ближайшие 10 лет население заметно убудет, а потенциальная рабочая сила уменьшится более чем на 10%. На определенном этапе неминуемо начнется сокращение производства по двум причинам: во-первых, из-за падения потребительского спроса; во-вторых, из-за неспособности производительности труда восполнить нехватку кадров. Их дефицит ощущается уже сейчас. Демографический фактор становится важнейшим фактором социально-экономического развития. И для того чтобы успешно продвигаться дальше, нужно изменить к лучшему демографическое развитие.

Нынешнее состояние демографической сферы связано с низкой рождаемостью, высокой смертностью и незначительным притоком мигрантов в Россию.

Значительный спад рождаемости в 90-е годы обусловлен адаптацией семей к новым реалиям жизни, вызванной рыночными преобразованиями экономики. Это главное, а вовсе не следование мировым тенденциям развитых стран, как утверждают иные наши демографы. В нынешний переходный период требуется особое внимание государства к созданию условий для успешной адаптации, чтобы свести к минимуму связанные с ней демографические издержки.

Высокая смертность в определенной мере связана с адаптационными процессами и – главное – с неблагоприятными условиями труда, особенно для мужчин. Именно это главное, а не какой-то особый менталитет россиян, их человеческие свойства, из чего исходят те же демографы в своих прогнозах смертности. Гуманизация экономики, трудовой деятельности должна стать важнейшим условием снижения смертности.

Иммиграционный поток в начале 90-х годов резко пошел на убыль. Сейчас мы поворачиваемся лицом к мигрантам, предприняты некоторые усилия. Однако это только первые шаги. Принимать, как предполагается, в ближайшие годы по 100–150 тыс. человек – это крайне мало. И речь должна идти не только о гражданах бывшего СССР.

ПРЕДЛАГАЕТСЯ

Усилить воздействие государства на демографическое развитие. В качестве общей важнейшей предпосылки выступает стабильность во всех сферах жизнедеятельности страны: политическая, экономическая, социальная, чем достигается “уверенность в завтрашнем дне”. Важно на самом высоком уровне провозгласить всемерный рост населения как важнейшую общенациональную цель России.

Особенность нашей страны с ее обширной территорией и огромными природными ресурсами состоит в том, что чем больше населения, тем выше благосостояние граждан. Быстро растущее население создаст хороший психологический климат в стране, способствующий прогрессу во всех сферах человеческой деятельности. Немаловажен геополитический аспект: растущее население работает на имидж страны, увеличивает ее авторитет в мире. Само по себе, обозначенное в последнее время, внимание властей к демографии, подкрепленное финансовой поддержкой семей, несет огромный позитивный заряд, который скажется уже в недалеком будущем.

Важно, чтобы в наших прогнозах социально-экономического развития учитывалось все необходимое для успешного демографического развития. В свою очередь, в демографических прогнозах должно предусматриваться все необходимое для успешного экономического роста. Однако сейчас и те, и другие прогнозы разрабатываются независимо друг от друга. Сложилась парадоксальная ситуация: во всех официальных прогнозах экономика растет, а население сокращается. С каждым годом “ножницы” растут. Для согласованной разработки прогнозов нужна межведомственная комиссия с Минэкономразвития России и Росстатом во главе. Огромная роль в решении демографических проблем принадлежит СМИ, вклад которых заключается в позитивной “демографической настройке” общественного мнения.

ПЕРСПЕКТИВЫ

Они представляются оптимистичными. Доказательством тому служит наша демографическая история. По сравнению с первой переписью населения (1897 г.) население России выросло в два с лишним раза. И это при том, что страна пережила Первую мировую и Гражданскую войны, коллективизацию, репрессии 30-х годов, Вторую мировую войну. За последние почти полвека (отправная точка – перепись 1959 г.) рост составил более 20 процентов, хотя и это время было не самым благоприятным для демографии. Логично ожидать, что в предстоящем столетии или чуть больше население существенно увеличится. Россия вполне способна прокормить и обустроить на достойном уровне полмиллиарда человек. Почему не поставить перед обществом такую цель?

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВЛАСТЕЙ И ОБЩЕСТВА В ФОРМИРОВАНИИ ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ

Академик РАН С.И. Колесников

Устойчивый экономический рост и качество этого роста могут быть обеспечены при условии инновационно-индустриального сценария экономического развития, общественного согласия и достаточного обеспечения высококачественными трудовыми ресурсами, а также максимальной социальной отдачи бизнеса. По данным акад. РАН В.П. Казначеева, за счет смертности в трудоспособном возрасте, бесплодия, снижения брачности и увеличения рождений вне брака, а также медицинских потерь и маргинальной криминализации наша популяция теряет 60% объема часов жизни. Причем предотвратимые медициной потери в потенциале демографического роста составляют до 65%, а потенциал увеличения рождаемости – лишь 35%. Естественно, решение проблем демографии лежит не только в плоскости медицины, а является результирующей взаимодействия социально-экономических факторов, экологии, образа жизни населения, образования и науки, действий исполнительной и законодательной властей, судебной системы. Немаловажную роль играют в этом процессе средства массовой информации и правоохранительные органы. Условно эти взаимодействия можно представить в виде двух кластеров (рис. 1): гражданского общества и власти. Взаимодействие властей и общества в цивилизованном государстве напоминает замкнутый цикл, в котором место науки – в анализе и подготовке изменений в соответствии с потребностями общества (в том числе развитие технологий), а также мониторинг процессов в обществе и подготовка поправок в ходе реализации исполнительной властью своих функций (рис. 2).

К сожалению, в случае современного российского общества взаимодействие властей и общества протекает по императивному сценарию, часто без научного анализа и прогноза развития ситуации и мониторинга процессов как в обществе, так и в экономической и промышленной сфере, что приводит к многочисленным ошибкам. Фактически население является заложником и жертвой непродуманных решений исполнительной и законодательных властей в отсутствие востребованности как науки, так и средств массовой информации.

Особенно характерно это для положительных по задумкам так называемых президентских проектов и демографической политики.

Остановимся на демографии. Фактически “Концепция демографического развития РФ... на период до 2015 года” была подписана в 2001 г. и уже тогда определила следующие конкретные цели:

- повышение рождаемости до 1,65–1,7 и рождение дополнительно до 700–800 тыс. детей в год;
- снижение младенческой смертности до 6,0‰;
- увеличение ожидаемой продолжительности жизни до 70 лет;
- увеличение численности иммигрантов на 400–500 тыс. человек в год;
- предотвращение естественной убыли населения.

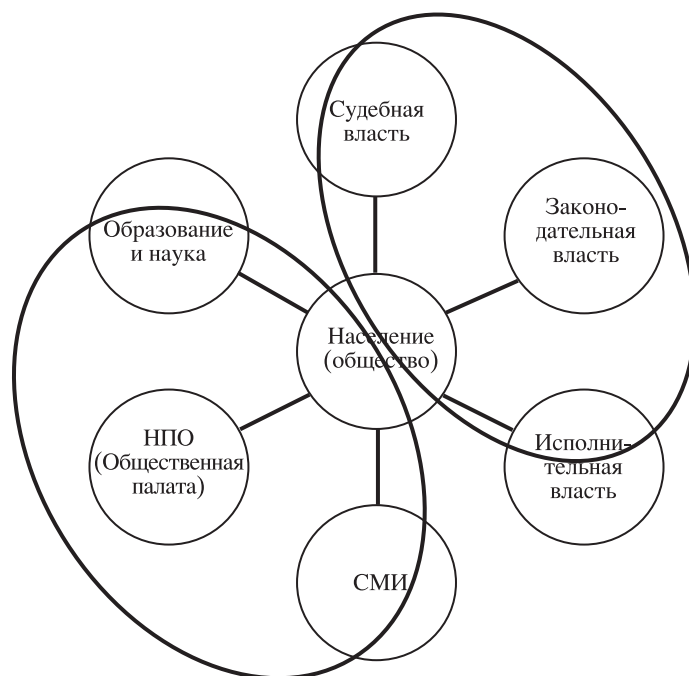


Рис. 1. Кластеры гражданского общества и власти



Рис. 2. Взаимодействие властей, науки и общества в цивилизованном государстве

План правительства предполагал:

- создание условий, благоприятствующих росту рождаемости, укреплению семьи;
- повышение благосостояния населения;
- увеличение продолжительности жизни через укрепление здоровья и снижение смертности;
- пропаганда здорового образа жизни, семейных ценностей;
- привлечение в Россию иммигрантов на ПМЖ.

Однако фактически для решения этого плана почти ничего не было сделано, и основные демографические проблемы за последние 5 лет только усугубились. Важнейшими из них являются:

- низкие доходы населения и отсутствие минимальных социальных стандартов;
- низкая рождаемость при растущей общей смертности и заболеваемости;
- рост демографической нагрузки на 1 работающего и рост инвалидизации;
- разрушение института семьи как ячейки общества (30% мужчин и 20% женщин к 30 годам никогда не состояли в браке) и до 50% женщин – матери-одиночки;
- постарение матерей и снижение за последние 20 лет на 6,2 года эффективного репродуктивного периода (до 35 лет – 95% родов);
- ухудшение репродуктивного здоровья (потенциала) у мужчин и женщин и их потомства.

Между тем во многих странах постиндустриального общества формируется новая парадигма развития общества, которая объединяет биологические, социальные, экономические ценности населения в единый критерий развития – человеческий капитал (ЧК) или индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП). При этом ЧК выражается в виде потенциала населения, с постоянным его использованием в режиме оптимальной замены (рекреация). Эти показатели стимулируют опережающее развитие социокультурной сферы (здравоохранение, наука, образование, культура, социальное обеспечение). Приоритетом становится также профилактика нарушений здоровья, в то время как у нас продолжает доминировать нооцентрический подход (а ведь достоинством русско-советской медицины был именно профилактический принцип!). Мы продолжаем жить по старым законам общества, в результате чего в структуре национального богатства в России доля человеческого капитала значительно ниже развитых стран (48% и продолжает снижаться) (рис. 3).

По оценке специалистов Программы развития ООН индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП), в котором оцениваются три основные составляющие качества жизни: здоровье и долголетие; доступность образования и профессионального роста; достойный уровень благосостояния, поставил Россию на 71-е место среди 174 стран мира, т.е. отнес ее в группу с минимальным средним уровнем развития. В докладе “Глобальные тенденции развития человечества до 2015 года” Национального разведывательного совета США содержится и вовсе уничижительная характеристика: “Население России не только сокращается, но и становится все менее и менее

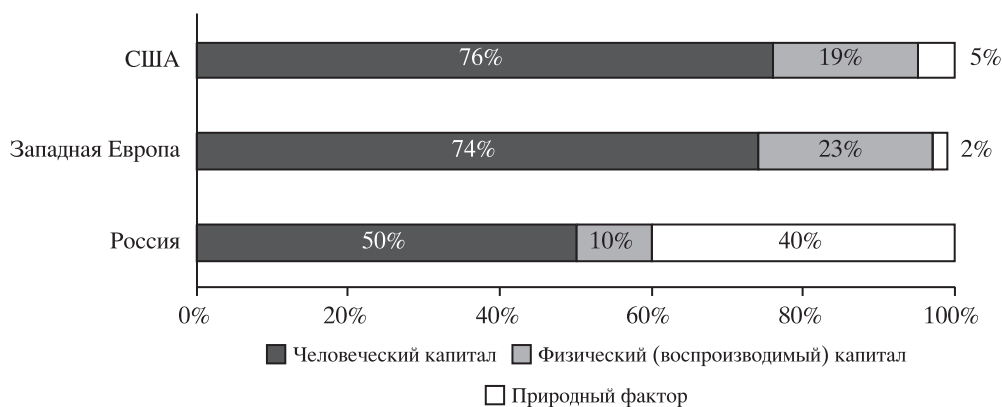


Рис. 3. Структура национального богатства

здоровым, а значит, теряет способность служить движущей силой экономического возрождения”.

За этим неизбежный вывод: проводимая в стране социально-экономическая политика неадекватна сложившейся демографической ситуации, не сдерживает неблагоприятные последствия проводимых реформ и в целом не обеспечивает выполнение обязательств государства перед населением, направленных на сохранение, укрепление его соматического и репродуктивного здоровья.

Каким же путем идти в решении демографических проблем? Есть две возможности или их комбинация.

1. Ускоренное стимулирование воспроизводства населения с низким качеством здоровья (экстенсивный путь со снижением человеческого капитала и ИРЧП).

2. Улучшение качества здоровья и социальных стандартов существующего и будущего поколений с ростом ЧК и ИРЧП (интенсивный путь).

Решение проблемы возможно при условии объединения трех уровней общества – населения (здоровье – частная собственность личности), предприятия (работающий – главное богатство предприятия) и государства (муниципальной власти) на всех уровнях. К сожалению, ни один из этих уровней не выполняет свои функции в полном объеме, особенно частные собственники и государство, которое никак не может вывести затраты на здравоохранение на цивилизованный уровень финансирования – 6% от ВВП (сейчас около 3%), не вводит даже минимальные (не говоря уж о средних) социальные стандарты, не формирует систему предпочтений для социально ориентированных предприятий и т.д. (рис. 4). При общей положительной динамике бюджета страны в ближайшее время доля затрат от ВВП на здравоохранение, науку и спорт, а также образование не растет и не предполагается рост на ближайшие три года. Более того, при уменьшении доли внешнего долга внутренний долг (т.е. долги перед населением страны и его предприятиями) будет расти, т.е. мы отдаем долги другим странам и их населению, забывая о своем населении. Таким образом, надеяться на рост внутренних инвестиций и покупательского спроса нельзя.



Рис. 4. Трехуровневая концепция ответственности за демографическую политику

Надо отметить, что благодаря усилиям крупнейшей в Государственной думе фракции “Единая Россия” удалось резко увеличить финансирование национальных (Президентских проектов) и сформировать новый проект – демографический (самый дорогой).

В настоящее время в Государственной думе сформирован ряд общественных экспертных советов, которые аккумулируют вокруг себя наиболее компетентных специалистов в области науки, охраны здоровья и демографической политики, а также выступают лоббистами взвешенного и научного подхода к решению проблем охраны здоровья и демографической политики. Возглавляют эти советы члены академий наук, имеющих государственный статус: Ж.И. Алферов, М.Ч. Залиханов, Н.Ф. Герасименко, С.И. Колесников.

С демографической политикой связаны следующие общественные экспертные органы Госдумы РФ.

1. Комиссия по проблемам народонаселения.
2. Совет по инновационной деятельности и интеллектуальной собственности (Комитет по образованию и науке).
3. Совет по профобразованию.
4. Совет по науке.
5. Советы по модернизации образования и науки...при фракции “Единая Россия”.
6. Экспертный совет по экологическому образованию в целях устойчивого развития.

7. Перспектива:

- Совет по медицинской науке, образованию и новым медицинским технологиям;

- Рабочая группа по проблемам школьного питания.

Основные выводы:

- национальная политика в области сохранения здоровья и межсекторального взаимодействия – не проработаны и реализуются недостаточно;

- приоритетные направления действий – выделены не полностью, не сформирована комплексная ФЦП по сохранению здоровья населения, включая работающее, и школьников, по борьбе с онкологическими заболеваниями;

- финансирование – сохраняется на прежнем уровне (3% ВВП), нет привязки реализации задач к объему финансирования;

- мотивация кадров – отсутствует;

- публичное обсуждение и научное обоснование механизмов реализации – отсутствуют.

Отсюда вытекают основные задачи:

- актуализировать нормативно-правовую базу для реализации стратегической цели, для чего сформировать Федеральную целевую программу “Сбережение населения России” (Охраны здоровья и демографической политики) и пакет законов по ее обеспечению;

- усилить роль отечественной науки в формировании демографической политики и охраны здоровья (не путать с медицинской помощью!). РАМН должен выступить независимым общественно-государственным экспертным органом по анализу и мониторингу хода реализации национальных проектов в части их влияния на здоровье населения и демографию;

- развивать профессиональное самоуправление;

- обеспечить публичность в ходе реализации достижения стратегических целей – ежегодный доклад Президента населению или Федеральному собранию.

РЕПРОДУКТИВНОЕ ЗДОРОВЬЕ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Академик РАМН В.И. Кулаков

Произошедшие социальные и экономические изменения последних лет сказались и продолжают сказываться на репродуктивном здоровье населения России и на демографической ситуации в стране, которая остается неблагоприятной. Так, имея самую большую территорию, по числу жителей Россия занимает восьмое место в мире и уже двенадцать лет мы живем в режиме депопуляции. Женское население страны насчитывает 76,8 млн человек; численность женщин репродуктивного возраста (18–49 лет) составляет 39,4 млн (51,7%), а их доля в общей численности населения – 27,7%. Детское население страны (до 18 лет) составляет 29 млн детей, среди них девочки – 14,2 млн.

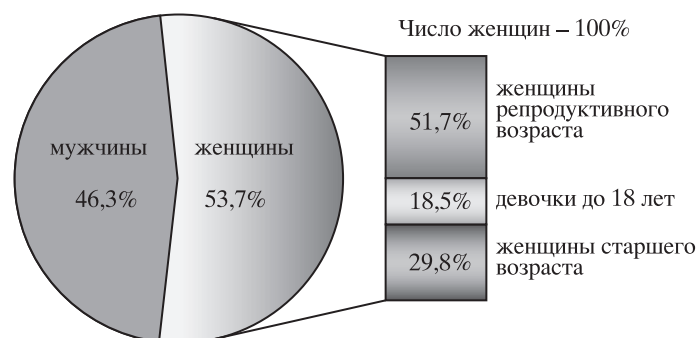


Рис. 1. Структура населения страны

Сохраняется низкий уровень рождаемости – 9,8 на 1000 чел. населения (2002 г.), 10,4 (2004 г.), 10,2 (2005 г.), который далек от рубежа простого воспроизводства населения, а число повторных рождений снизилось с 51 до 41%. Общая смертность населения остается высокой – 16,1 на 1000 населения и в 1,6 раза превышает рождаемость. Показатели материнской и младенческой смертности в последние годы имеют тенденцию к снижению, однако в 3–4 раза превышают среднеевропейские. Известно, что материнская смертность – один из показателей эффективности акушерско-гинекологической службы страны, и каждая женщина, умершая во время беременности, родов или послеродовом периоде, – чрезвычайная ситуация, трагедия для родных, медицинского персонала, учреждения в целом, региона. На протяжении последних лет уменьшается число беременностей (в 2002 г. – 3 млн 200 тыс., в 2004 г. – 3 млн 160 тыс.), число бесплодных супружеских пар остается стабильно высоким – 4–5 млн. В то же время Россия продолжает лидировать по числу аборт – 1 млн 610 тыс. в 2004 г., около 10% аборт производятся в подростковом возрасте.

К наиболее проблемным в состоянии репродуктивного здоровья женщин относят:

- высокий уровень аборт, которые остаются одной из ведущих причин бесплодия и невынашивания беременности (1 млн 610 тыс. аборт в 2004 г.). Улучшение ситуации может осуществляться в двух направлениях – предупреждение нежелательной беременности и “безопасный аборт”. В настоящее время имеются возможности диагностировать беременность на ранних сроках – 3–6 недель, что делает возможным щадящее прерывание беременности. Медикаментозное прерывание с помощью препаратов антипрогестеронового действия (мифепристон) является эффективным и безопасным методом. Однако этот метод не нашел пока достаточного распространения, а в ряде случаев неквалифицированное применение медикаментозных средств, без учета показаний, сроков беременности и использование не сертифицированных препаратов привело к дискредитации медикаментозного прерывания беременности;

- невынашивание беременности, которое упирается в проблему развития системы интенсивной терапии и реанимации новорожденных, выхаживания недоношенных и маловесных детей (около 15% новорожденных нуждаются

в интенсивном уходе), коррекции врожденных пороков развития. Эти вопросы могут быть решены благодаря созданию и развитию перинатальных центров, которые отвечают международным требованиям и стандартам;

- состояние здоровья девочек-подростков, которое в последние годы имеет негативные тенденции. За последние 10 лет доля абсолютно здоровых девочек уменьшилась с 28,6 до 6,3%, до 60% детей страдают хроническими заболеваниями; гинекологическая заболеваемость среди девочек за последние пять лет выросла в 1,5 раза, что обусловлено ранним началом половой жизни, родами, абортами, инфекциями, передающимися половым путем;

- отрицательную динамику показателей, характеризующих социально обусловленные заболевания подростков: алкоголизм, токсикомания, наркомания, сифилис, распространение ВИЧ-инфекции, что требует межведомственного подхода к решению проблем молодежи, участия медицинских, образовательных, социальных структур, создания специализированных молодежных центров;

- улучшение репродуктивного здоровья супружеских пар. Доля бесплодных браков в стране составляет более 15%, зарегистрировано 5,5–6,5 млн женщин и около 4 млн мужчин, страдающих бесплодием.

Неудивительно, что проблема диагностики и лечения бесплодия по-прежнему является крайне актуальной в акушерско-гинекологической практике, в медицине в целом и приобретает государственное значение. В руководстве ВОЗ по стандартизованному обследованию и диагностике бесплодных супружеских пар (1997 г.) отмечено, что “задачей врача, занимающегося бесплодием, является не упустить ничего важного и не делать ничего лишнего, что растягивало бы во времени и заводило бы в тупик процесс обследования, увеличивало бы больше, чем нужно, материальные затраты”. В связи с этим врач в каждом конкретном случае должен использовать наиболее информативные методы исследования, позволяющие в максимально короткий период ответить на вопрос о причине бесплодия. Быстрое, четкое и правильное установление причины нефертильности супружеской пары – главный этап, определяющий дальнейший успех лечения бесплодия. Использование современных гормональных, ультразвуковых и эндоскопических методов позволяет диагностировать форму бесплодия и определять тактику лечения больной в течение нескольких дней обследования, тогда как раньше на это требовались месяцы и даже годы. Несомненна экономическая целесообразность применения именно современных, высокоинформативных диагностических методик, несмотря на их высокую стоимость.

Бесспорным является то, что зачатие – процесс, в котором участвуют оба супруга, причем доля мужских и женских причин бесплодия приблизительно равна, поэтому обследование необходимо проводить супружеской паре. Бесплодие определяется как неспособность зачать при регулярной половой жизни без контрацепции в течение более 1 года. Ведущими причинами бесплодия являются: трубно-перитонеальный фактор (40–50%), эндокринные формы (15–30%), эндометриоз (20–30%), мужской фактор (20–40%) и бесплодие неясного генеза (5–10%) (данные НЦАГиП РАМН, 1999 г.).

Следует отметить, что практически у половины бесплодных женщин отмечается сочетание от 2 до 5 и более факторов, нарушающих репродуктивную функцию. К настоящему времени благодаря научным достижениям

последних лет, внедрению современных репродуктивных технологий удалось добиться эффективного лечения у большинства больных, страдающих бесплодием, независимо от его формы. Однако реально из-за недостатка соответствующего технического оснащения, специально обученных кадров, финансового обеспечения на обследование пациентов и лечение бесплодия у них затрачиваются годы, что негативно влияет на успех лечения.

Репродуктивная хирургия эндоскопическими методами получила широкое распространение, и это является значительным достижением современной науки и практики. Однако хирургические вмешательства по поводу бесплодия или у женщин, заинтересованных в сохранении репродуктивной функции, имеют свои особенности, которые подчас не учитываются хирургами. Главным является не только удалить патологически измененные структуры, но и сохранить анатомическую и функциональную полноценность репродуктивной системы. Грубые воздействия не только не восстанавливают анатомическую или функциональную полноценность репродуктивных органов, но приводят к формированию еще более выраженных и грубых изменений. Среди больных, обращающихся в Центр, около 30% женщин уже неоднократно оперированы. В этих случаях бывает затруднительно и технически опасно восстановить анатомию репродуктивных органов. Еще более фатальными могут быть ситуации после произведенной резекции яичников. Операции на яичниках по поводу доброкачественных новообразований часто производят с использованием столь грубых методик, что резко снижается, а иногда полностью утрачивается функция яичника. Вместе с тем энуклеация кист яичников эндоскопическим доступом практически не снижает овариальный резерв и не влияет отрицательно на лечение бесплодия.

Таким образом, возможности хирургических методов лечения далеко не исчерпаны, а технические усовершенствования и щадящий подход могут значительно повысить эффективность хирургического лечения бесплодия. Необходимыми условиями при проведении операций на органах репродуктивной системы является наличие высокой квалификации врача и понимание того, что вмешательства производятся для восстановления репродуктивной функции.

Наиболее перспективным решением проблемы бесплодия является применение экстракорпорального оплодотворения (ЭКО). Современные программы ВРТ помимо “классического” ЭКО включают инъекцию сперматозоида в цитоплазму яйцеклетки, преимплантационную диагностику, использование донорских гамет и эмбрионов, суррогатное материнство, замораживание половых клеток и эмбрионов. Накопленный в течение двух десятилетий опыт позволяет заключить, что с помощью ВРТ могут быть преодолены практически все известные формы как женского, так и мужского бесплодия.

Эффективность программ ВРТ составляет 30–45% на попытку и превышает естественную фертильность человека. Однако современные методы лечения нарушений репродуктивной функции продолжают оставаться недоступными для значительной части населения вследствие отсутствия достаточного числа специализированных лечебных учреждений и высокой стоимости лечения. В связи с этим остро встает необходимость развития

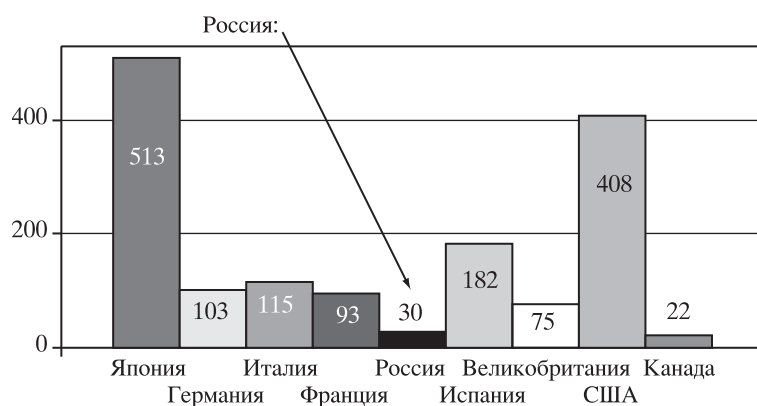


Рис. 2. Число клиник ВРТ в некоторых странах мира. Данные Международного регистра 2000 г.

специализированных центров ЭКО (в настоящее время в стране около 40 таких центров, включая частные), которые нуждаются в государственной поддержке. Подтверждением сказанного могут служить сведения, приведенные Интернациональным комитетом по мониторингованию методов ВРТ. На рис. 2 представлен ряд данных, характеризующих обеспечение населения центрами ВРТ в наиболее развитых странах мира. Число клиник ВРТ в России составляет лишь 1,4% всех существующих в мире, тогда как наша страна занимает первое место по территории и 8-е место по числу населения в ряду мировых стран.

Те же самые закономерности существуют и в числе проводимых циклов лечения. Если в России в год проводится около 6 тыс. циклов, то в США более 74 тыс., во Франции – почти 47 тыс., в других развитых странах – от 10 до 20 тыс. При наличии 5 млн бесплодных супружеских пар число проводимых циклов лечения должно составлять как минимум 50 тыс. в год, оптимально 100 тыс. циклов в год. Лишь в этом случае можно говорить об удовлетворении потребностей населения в этом виде помощи. Тем более, что эффективность лечения в работающих на сегодняшний день на территории нашей страны клиниках является неплохой и соответствует мировому уровню. Сведения, приведенные Интернациональным комитетом, охватывают 2000 г. Конечно, за истекший период времени произошел ряд изменений: так, в ряде европейских стран ограничено число переносимых эмбрионов до 2, а то и до одного. Введены или обсуждается введение ограничений для программ донорства гамет и суррогатного материнства, в то же время проведение предимплантационной генетической диагностики в ведущих клиниках стало рутинным методом. У нас увеличилось число центров ВРТ, повысилась эффективность лечения, вводятся в клиническую практику современные технологии. Однако темпы и качество развития этого направления являются явно недостаточными.

В последнее время обсуждается возможность широкого участия профессиональных сообществ в решении кардинальных вопросов различных отраслей медицины. Предлагается расширить полномочия этих сообществ в решении клинических, научно-исследовательских и организационных

задач. Это принципиально правильно: никто, кроме специалистов, не способен адекватно решать наболевшие вопросы. Но профессиональные сообщества, это относится и к Российской ассоциации репродукции человека, должны представлять собой единую, консолидированную и профессиональную организацию, объединяющую специалистов всей страны. Разобщенность, конфронтации, противоречия, порой мелкие и не принципиальные, вредят развитию специальности, способствуя появлению случайных людей, стремящихся захватить ведущие позиции. Кроме того, основное ядро специалистов, занимающихся проблемой репродукции человека, – это акушеры-гинекологи, поэтому работу Российской ассоциации репродукции человека целесообразно проводить в рамках основного профессионального сообщества – Российского общества акушеров-гинекологов. Тем более, что задачей лечения бесплодия является не только достижение беременности, а, прежде всего, рождение здоровых детей у ранее бесплодных супружеских пар. Уникальность этого направления медицины заключается в объединении ряда специалистов: гинекологов, урологов-андрологов, педиатров, генетиков и эмбриологов. Это делает необходимым осуществление тесных связей с сообществами специалистов указанных дисциплин в рамках междисциплинарных союзов. Конференции, проводимые Российской ассоциацией репродукции человека, и сама ассоциация крайне важны для успешного развития этого направления медицины, ведь здесь объединены ведущие специалисты страны, энтузиасты, стоящие у истоков зарождения и развития репродуктивной медицины. Хотелось бы, чтобы работа ассоциации продолжалась и была еще более эффективной и конструктивной.

Рождаемость в конечном итоге определяется репродуктивным поведением людей, которые по-разному оценивают социально-экономические условия и делают соответствующий выбор – рожать или не рожать. В связи с этим чрезвычайно важна позиция государственных служб по отношению к этой проблеме. Сегодня, можно сказать впервые, из уст Президента РФ В.В. Путина прозвучали слова о необходимости “принятия эффективных программ поддержки материнства, детства, семьи”, т.е. мер социально-экономического характера стимулирования рождаемости. Представителям медицинской науки и здравоохранения предложено “в ближайшее время принять программу создания в стране сети современных перинатальных центров и обеспечить роддома необходимым оборудованием, специальным транспортом и другой техникой”.

Разработка Федеральной целевой программы по проблемам материнства, развития родовспоможения, охраны репродуктивного здоровья населения явится важным этапом решения демографических проблем. Реализацию указанной программы целесообразно проводить по следующим основным направлениям:

- выработка концепции развития родовспоможения, для чего необходимо создание экспертного или координационного совета из ведущих представителей науки, клиницистов, организаторов здравоохранения в области акушерства и гинекологии;
- повышение эффективности акушерско-гинекологической службы путем внесения существенных изменений в программы медицинского диплом-

ного и последипломного образования, создав унифицированные программы повышения квалификации акушеров-гинекологов, терапевтов, анестезиологов, работающих в родовспомогательных учреждениях;

- обеспечение доступности и качества акушерско-гинекологической помощи населению путем развития и внедрения новых организационных технологий, совершенствования системы управления службы родовспоможения; головным учреждением акушерско-гинекологической службы должен выступить Федеральный научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии РАМН;

- улучшение материально-технического и санитарно-эпидемиологического обеспечения роддомов, создание условий, обеспечивающих безопасный лечебный процесс (обеспечение одноразовым бельем и расходными материалами, современным инструментарием и медицинской аппаратурой и т.д.);

- усиление профилактической направленности в работе амбулаторно-поликлинического звена акушерско-гинекологической службы;

- разработка стандартов и клинических протоколов оказания акушерско-гинекологической и неонатологической помощи при различных заболеваниях;

- расширение набора услуг по профилактике, диагностике и лечению заболеваний в рамках федеральной программы оказания бесплатной медицинской помощи гражданам РФ; гарантия бесплатной медицинской помощи малообеспеченным слоям населения;

- коррекция концепции демографического развития РФ с учетом проблем репродуктивного здоровья женщин;

- внедрение современных информационных технологий в работу акушерско-гинекологических учреждений; расширение и совершенствование медицинской статистической службы.

Следует отметить, что мы располагаем достаточным кадровым и научным потенциалом в области акушерства, гинекологии и неонатологии. Разработанные отечественными учеными современные технологии в области оказания медицинской помощи женщинам и новорожденным не уступают зарубежным аналогам, однако решение основных проблем упирается в вопросы финансирования учреждений родовспоможения, материнства и детства. “Родовые сертификаты” – замечательное начинание, позволяющее улучшить материально-техническое состояние сотрудников и самих лечебных учреждений, однако бюджетное финансирование отрасли должно быть увеличено, причем должно происходить по факту “пролеченного больного” в соответствии с утвержденными стандартами.

Таким образом, состояние репродуктивного здоровья населения страны является предметом интереса не только медицинской практики, но и государства и общественности. Репродуктивное здоровье женщин выделяется своей общественно-политической значимостью, так как оно напрямую связано со здоровьем детей, а следовательно, с будущим государства и нации. Реализация обозначенных выше конкретных мер будет способствовать улучшению качества и доступности акушерско-гинекологической помощи, создаст условия, благоприятствующие росту рождаемости, повышению престижа материнства, отцовства и семьи в целом.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ДЕТСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ И ИХ КОМПЛЕКСОВ В МОСКВЕ

Академик РААСН В.И. Ресин

Генеральный план развития г. Москвы и задачи градостроительства выступают в современных условиях важнейшим инструментом, позволяющим планировать развитие города и в первую очередь отраслей, обеспечивающих здоровье, образование и развитие детей. Это отрасли – “Образование” (школы, детские сады), “Здравоохранение”, “Физическая культура и спорт”, “Культура”. Общий объем финансирования за счет средств городского бюджета на указанные цели составляет около 10% общего объема городского бюджета (или свыше 12 млрд руб.).

Основной проблемой строительства детских учреждений в Москве до последнего времени оставалось их недостаточное количество. В прошлом году на одном из заседаний правительства Москвы мы подвели неутешительные итоги 15-летнего господства коммерческих интересов в сфере земельных отношений на площадках, занимаемых детскими садами. Согласно расчетным показателям Генплана, на начало 2005 г. в Москве уровень обеспеченности жителей местами в детских образовательных учреждениях должен был составлять 41 место на 1000 жителей. Реальный же показатель оказался почти в 1,5 раза ниже – лишь 28 мест на 1000 жителей. Ситуация осложнялась еще и демографическим взрывом в столице, который обусловлен, прежде всего, повышением социально-экономической стабильности и ростом психологической уверенности в завтрашнем дне в среде москвичей. В итоге количество детей, записанных в очередь на посещение детских садов, но не обеспеченных местами, приблизилось к 16 тыс. Конечно, реальный дефицит мест оказался ниже этой максимальной цифры (хотя бы в силу несовершенства действовавшей до 2006 г. системы записи, когда один ребенок мог значиться сразу в нескольких очередях), однако масштабы проблемы все равно оставались существенными.

Многие причины подобного положения вещей не являются специфичными для Москвы, а могут наблюдаться, к сожалению, во многих крупных городах России. Здания детских садов, занимаемые ими участки, а также предназначенные для прогулок детей прилегающие территории в предыдущие годы стали – наряду с земельно-имущественными комплексами разнообразных НИИ и промышленных предприятий – одним из главных объектов нападков со стороны многочисленных рейдерских структур. В итоге сегодня на месте некоторых из них располагаются особняки, офисы коммерческих компаний.

Злую шутку со сферой детского дошкольного образования сыграли и те кризисные процессы, которые на протяжении 90-х годов происходили со многими крупными промышленными, научными, государственными предприятиями. Лишь немногие предприятия, будучи в финансово-неудовлетворительном состоянии, передавали находившиеся на их балансе детские сады и другие учреждения социальной сферы муниципалитетам. Гораздо большее

число детских садов *сменило профиль в процессе банкротства и появления новых собственников у предприятий*. Другая их часть прекратила свою деятельность, поскольку державшие их на балансе ведомства и организации не сумели или не захотели найти средства на поддержание имущественных комплексов в удовлетворительном состоянии.

Наконец, до недавнего времени местным органам власти, ответственным за строительство и развитие социальной сферы, приходилось сталкиваться и с явным непониманием со стороны отдельных федеральных министерств. В Москве не далее как в начале текущего года, т.е. уже после начала реализации приоритетных национальных проектов и заявленного Президентом курса на инвестиции в человека, уже после развертывания правительством Москвы программы восстановления детских садов Росимущество все еще пыталось выставить на коммерческий аукцион участки и здания заброшенных детских садов.

Таким образом, на текущем этапе приоритетной для правительства Москвы целью стало резкое (в несколько раз) и в сжатые сроки (менее чем за год) увеличение количества функционирующих детских образовательных учреждений в столице. Мэром Москвы в этом году была поставлена предельно напряженная задача – скорейшим образом направить в сферу городского дошкольного образования *100 детских дошкольных учреждений*. Масштаб этой задачи становится ясным, если учесть, что в предыдущие годы в столице в основном вводилось в строй от 13 до 20 детских садов.

Безусловно, правительством Москвы были задействованы существующие возможности увеличения числа детских учреждений в городе. Так, был *интенсифицирован переговорный процесс* на предмет передачи городу детских садов, находившихся на балансе различных ведомств и предприятий. На сегодняшний день нам удалось принять положительное решение по 46 таким садам. Активно ведется работа по возврату городу ранее заброшенных или перепрофилированных детских садов, по выводу из них непрофильных организаций.

В условиях непоследовательной позиции отдельных федеральных ведомств по вопросу сохранения целевого назначения помещений детских садов встал вопрос и *о соответствующих изменениях в московском земельном законодательстве, которые бы поставили барьер перепрофилированию этих участков*. В 2006 г. Мосгордума приняла предложенные правительством Москвы поправки, которые придали участкам под детскими садами, учреждениями начального и среднего образования особый статус – изменение вида их разрешенного использования допускается лишь по решению правительства Москвы. В проекте новой редакции городского закона “О землепользовании и застройке” такую защитную норму предложено распространить на все объекты социальной инфраструктуры.

Однако основная нагрузка по реализации поручения мэра Москвы все-таки легла на столичный стройкомплекс. Во-первых, помещения многих заброшенных или перепрофилированных детских садов находились в неудовлетворительном состоянии и *требуют, как минимум, капремонта, а как максимум – реконструкции с новым строительством*. Комплексной программой развития сети детских образовательных учреждений предполагается открыть после проведения ремонта дополнительно 351 группу

(на 6825 мест) в функционирующих детских садах; открыть после капитального ремонта 5 закрытых ранее детских садов (на 515 мест). Во-вторых, в городе развернуто массовое новое строительство детских садов в рамках основных градостроительных программ.

Естественно, *детская инфраструктура заново возводится в новых районах массовой застройки*. Сегодня это Митино, Кожухово, Печатники, а также, преимущественно, территории бывших деревень и поселков столицы (прежде всего, Бутово). *Стратегическим шагом явилось решение привязать планы сноса устаревших и строительства новых детских садов к программам квартальной комплексной реконструкции*. Оставить в этих кварталах прежнюю, возведенную еще в середине XX в. и по тогдашним нормам, детскую инфраструктуру означало бы создать отложенный дефицит мест на период после окончания реконструкции, которая дает более высокий выход жилых площадей, нежели до ее проведения.

Основные работы по квартальной реконструкции, где предусмотрен наибольший объем детсадовского строительства, в 2007 г. ведутся в районах Ховрино, Кузьминки, Текстильщики, Перово, Чертаново Южное, Солнцево, Северное Медведково, Бескудниково, Измайлово.

В отдельных сложившихся микрорайонах города (прежде всего, центральных, а также возведенных в позднесоветскую эпоху) приходится идти по принципу точечного строительства детских садов из-за нехватки новых площадок. Здесь строительство детской образовательной инфраструктуры также предусмотрено *условиями инвестиционных контрактов с застройщиками, ведущими точечное строительство/реконструкцию* (в 2006 г. число таких детских садов составило 14, на 2007 г. планируется ввести в строй еще как минимум 6 садов, строящихся по инвестконтрактам). Наконец, в связи с нехваткой площадок под строительство новых учреждений в ряде домов-новостроек, построенных по типовым проектам, прорабатывается возможность организации экспериментальных садов типа *“Домашний детский сад”*.

Таким образом, в целом уже создан задел на строительство за счет средств бюджета более полутора сотен новых детских учреждений. За 8 месяцев 2006 г. введены в строй 14 садов, подобраны участки, разработана проектная документация и возводятся еще 68 детских садов. *Адресная инвестиционная программа на 2007 г. насчитывает еще 71 детский сад*, строящийся за счет средств бюджета Москвы. Успешный запуск механизма массового детсадовского строительства позволил правительству Москвы, столичному стройкомплексу перейти от решения оперативных проблем к формулированию и проработке перспективных задач в этой сфере.

Прежде всего, очевидны особые требования к экономике проектирования и строительства детских садов, обусловленные беспрецедентными по своему масштабу количественными показателями строительства детских учреждений. В рамках Года ребенка и реализации общероссийского демографического проекта в ближайшем будущем должны быть построены или реконструированы десятки объектов социальной инфраструктуры – не только детские сады, но и учреждения детского досуга, детского здравоохранения и т.п. Резерв экономии бюджетных средств кроется в *продолжении разработки экономических типовых современных серий объектов социальной инфраструктуры*. Только имея в своем активе современные, быстровозводимые,

экономичные типовые проекты того же самого детсадовского строительства нам удастся убедить федеральный центр помочь регионам и муниципалитетам с финансированием строительства социальной инфраструктуры в районах массовой застройки в рамках Нацпроекта “Доступное жилье”. При этом задачей государства и проектных организаций должна являться *разработка таких серий, которые пользовались бы одинаковой популярностью как у государственных заказчиков, так и у коммерческих инвесторов* строительства детских учреждений. Благодаря этому мы можем не только снижать бюджетные расходы, но и сдерживать рост затрат на реализацию коммерческих проектов в жилищной сфере (а значит, сдерживать рост себестоимости коммерческого жилья).

В случае успеха реализации начинания с “Домашним детским садом” потребуется уделить дополнительное внимание и соответствующей доработке типовых проектов домов, предусмотрев в них увеличение соответствующей площади помещений, их числа, специфику благоустройства придомовой территории. В перспективе данные проекты могли бы использоваться для строительства домов по программе “Молодая семья”.

Учитывая наличие не только в Москве, но и в целом по России огромного числа детских садов, выстроенных многие десятилетия назад и по морально устаревшим проектам, сегодня *необходимо ставить вопрос и о разработке типовых экономичных проектов реконструкции детских садов*. Они могли бы быть задействованы на тех территориях, где муниципалитеты или балансодержатели детских учреждений не имеют средств, чтобы сносить и строить новые детские сады.

Наконец, еще одним важным вопросом экономики детсадовского строительства является *соответствие вместимости проектируемых новых учреждений особенностям бюджетного процесса в современной России*. В прошлые годы Москва столкнулась с тем, что ряд застройщиков, в условия инвестиционных контрактов которых с городом входило возведение детских садов, предпочитали проектировать детские сады на минимальном пороге вместимости. *Город получал в свое распоряжение детские сады, рассчитанные на пребывание, к примеру, 15 или 40 детей*, однако затем не мог обеспечить эти сады квалифицированным персоналом в полном составе, так как не имел права выделять соответствующие бюджетные ставки на сады пониженной вместимости. Поскольку в отдельных случаях строительство сада за счет инвестора – единственный возможный вариант его размещения на стесненном городском пространстве, нашей задачей является усилить контроль за выбором инвестором проекта детского сада, чтобы избежать подобных недоработок и ошибок с его стороны. В то же время задачи оптимизации экономики процесса строительства детских учреждений не должны заслонять собой современные требования к уровню развития детской инфраструктуры. Дальнейшие резервы развития строительства детских учреждений и их комплексов в Москве (и по РФ в целом) связаны с комплексным выводом этого процесса на новый качественный уровень. С тем чтобы в последующие годы перейти от антикризисных методов работы в сфере строительства детских учреждений к политике системной модернизации этой сферы, проводимой на принципах *средне- и долгосрочного планирования с учетом перспектив градостроительного развития в целом*.

Москва активно разрабатывает детские сады нового образца и они запланированы к строительству во всех округах уже в 2007 г. Отличительной особенностью этого проекта является появление дополнительных медицинских кабинетов (кабинеты для массажа, физиотерапии, логопеда, детского психолога), организация отдельных помещений для специфического детского досуга и творчества (например, театральная мастерская, кабинет художественного ручного труда, информационный центр с библиотекой), компьютерного зала и т.п.

Кроме того, сегодня демографический проект прочно встал в один ряд с четырьмя приоритетными национальными проектами. Очевидно, что он имеет множество содержательных точек пересечения не только с проектом “Доступное жилье”, но и с проектом “Образование”, “Здравоохранение”. В связи с этим главным ориентиром градостроительной политики правительства Москвы в сфере строительства детских учреждений является встраивание новых и реконструируемых детских садов в эти нацпроекты. Так, детский сад нового типа, с одной стороны, должен готовить ребенка ко всем технологическим новшествам, которые сегодня внедряются в учебный процесс в начальной и средней школах в рамках проекта “Образование”. В том числе сейчас ведется работа над проектированием учреждения типа “начальная школа – детский сад”. С другой стороны, в дошкольных образовательных учреждениях нового образца должны быть реализованы принципы здорового образа жизни, доступности и качества медицинских услуг, которые предусмотрены проектом “Здравоохранение”. Особое внимание здесь уделяется, в том числе, и разработке проектов детских садов (яслей) для детей раннего возраста – с 2 месяцев до 3 лет.

В заключение необходимо отметить, что объекты, связанные со здоровьем и образованием детей, являются приоритетными направлениями Адресной инвестиционной программы города Москвы. Определены объемы и источники финансирования. В Департаменте градостроительной политики, развития и реконструкции города Москвы организован контроль за их проектированием и строительством, что дает уверенность в том, что они все будут построены вовремя и с высоким качеством.

***Решения научной сессии академий наук,
имеющих государственный статус***

**“ЗДОРОВЬЕ И ОБРАЗОВАНИЕ ДЕТЕЙ –
ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА И ГОСУДАРСТВА”**

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ АКАДЕМИЙ НАУК,
ИМЕЮЩИХ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАТУС**

5–6 октября 2006 года

6 октября 2006 года

РЕШЕНИЕ

Научная сессия Российской академии медицинских наук, Российской академии образования, Российской академии наук, Российской академии сельскохозяйственных наук, Российской академии архитектуры и строительных наук, Российской академии художеств разделяет озабоченность государства сложившейся в стране демографической ситуацией, состоянием физического и нравственного развития подрастающего поколения.

СЧИТАЯ основными задачами социальной политики снижение смертности, повышение рождаемости, укрепление здоровья детей, поддержку молодых семей, обеспечение потребностей в дошкольных учреждениях, материальное стимулирование устройства в семьи сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТМЕЧАЕТ, что решение накопившихся проблем в сфере здравоохранения, образования, среды жизнедеятельности и обеспечения детей оптимальным питанием в образовательных учреждениях требует скоординированной системной работы ученых, практических работников, органов государственной власти, местного самоуправления, общественных организаций, вовлеченных в реализацию государственной политики в этой сфере. Большую роль в этом призвано сыграть бизнес-сообщество.

Потенциал академий наук, имеющих государственный статус, позволяет осуществлять эффективное научное сопровождение дальнейшего развития приоритетных национальных проектов в здравоохранении, образовании, сельском хозяйстве и обеспечении доступным жильем с целью формирования физически и нравственно здоровых поколений россиян.

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ АКАДЕМИЙ НАУК,
ИМЕЮЩИХ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАТУС,**

ПОРУЧАЕТ

президентам Российской академии медицинских наук, Российской академии образования, Российской академии наук, Российской академии сельскохозяйственных наук, Российской академии архитектуры и строительных наук, Российской академии художеств:

1. Обобщить предложения, высказанные на совместной научной сессии российских академий наук, имеющих государственный статус, ведущими российскими учеными—представителями различных областей знаний.

2. Обратиться к российскому бизнес-сообществу с призывом поддержать провозглашенную Президентом Российской Федерации государственную социально ориентированную политику и принять активное участие в ее реализации, в том числе по привлечению к ее реализации интеллектуального потенциала российской академической науки.

3. Представить Президенту Российской Федерации, Правительству Российской Федерации, Совету Федерации и Государственной думе Федерального Собрания Российской Федерации, Совету при Президенте РФ по реализации приоритетных национальных проектов обобщенные предложения российских академий наук, имеющих государственный статус, направленные на необходимость безотлагательного решения наболевших проблем в области охраны здоровья и образования детей и подростков, а также по научному обеспечению и сопровождению приоритетных национальных проектов и государственной политики в сфере здравоохранения, образования, сельского хозяйства и обеспечения доступного жилья в целях их успешной реализации.

Москва

Принято единогласно

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ АКАДЕМИЙ НАУК,
ИМЕЮЩИХ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАТУС,
“ЗДОРОВЬЕ И ОБРАЗОВАНИЕ ДЕТЕЙ –
ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА И ГОСУДАРСТВА”**

5–6 октября 2006 года

РЕШЕНИЕ

г. Москва

6 октября 2006 года

Научная сессия российских академий наук, имеющих государственный статус, полностью разделяет оценку Президента Российской Федерации В.В. Путина демографической ситуации в стране и одобряет основные направления решения этой важнейшей проблемы, содержащиеся в Послании Федеральному Собранию России 2006 года: снижение смертности, повышение рождаемости, эффективная миграционная политика, поддержка молодых семей, обеспечение потребностей в детских садах и яслях, материальное стимулирование устройства на воспитание в семьях детей, оставшихся без попечения родителей, и др. Проблему низкой рождаемости невозможно решать без изменения отношения всего общества к семье и её ценностям. Среди этих ценностей лидирующие позиции занимают здоровье детей, образование и среда обитания.

Негативные тенденции в состоянии здоровья россиян, особенно рост заболеваемости, изменения в показателях физического развития детей и подростков, нерациональное и неадекватное питание детей весь период их

роста от продуктов прикорма до питания в детских учреждениях, разработка и реализация мер по их устранению постоянно находятся в поле зрения ученых.

Здоровье и образование детей – основа устойчивого развития российского общества и государства. Именно поэтому XIV (LXXVII) сессия Общего собрания Российской академии медицинских наук (9–11 декабря 2004 г.) была посвящена научным основам охраны здоровья детей. Сессия отметила, что для коренного улучшения ситуации в состоянии здоровья детей необходимо комплексное решение наиболее актуальных вопросов организации здорового и лечебного питания, детского здравоохранения с использованием новых технологий в медицине, новых биомедицинских технологий в профилактике, диагностике и лечении инфекционных, сердечно-сосудистых заболеваний, злокачественных новообразований; клеточных технологий с учётом новых технологий в экологии человека и гигиене окружающей среды.

В феврале 2005 года состоялось совместное заседание Российской академии архитектуры и строительных наук и Российской академии образования “Среда жизнедеятельности как необходимое условие физического и психического здоровья школьников”, на котором были рассмотрены вопросы влияния пространственной организации школьных учреждений на эффективность учебного процесса и психофизическое состояние школьников. Систематически проводились заседания Координационного совета РАМН и РАО, обсуждались наиболее важные вопросы здоровья детей и их образования, определялись решения для их реализации.

Инвалидность детей является важнейшим индикатором ухудшения состояния здоровья детей, что связано, прежде всего, с недостаточным охватом населения медико-генетической помощью, неэффективной дородовой диагностикой патологии плода, недостаточной эффективностью послеродовой реабилитации, наличием различных заболеваний у матери, в том числе формирующихся в подростковом возрасте, прогрессированием алкоголизма, наркомании, токсикомании, недостаточным развитием системы реабилитационных учреждений для детей, плохими градо-экологическими условиями развития детей. Внедрение в широкую медицинскую практику современных технологий эффективной медицинской реабилитации детей с ограниченными возможностями при различных заболеваниях сдерживается из-за отсутствия соответствующих специалистов, реабилитационных учреждений и их необходимого оснащения.

Научная сессия констатирует, что до настоящего времени сохраняются негативные тенденции в состоянии здоровья детей и подростков. Нарушения состояния здоровья беременных женщин и кормящих матерей, сопряженные с низкой распространенностью грудного вскармливания и нерациональным питанием детей первого года жизни, лежат в основе высокой частоты рахита, анемий, гипотрофии, острых инфекционных заболеваний и других нарушений в состоянии здоровья детей раннего возраста, что в свою очередь вызывает рост сердечно-сосудистых заболеваний, болезней почек, желудочно-кишечного тракта, нарушения обмена веществ в последующие возрастные периоды. Значительная доля болезней формируется в школьном возрасте. Изучение фактического питания учащихся выявило явные нарушения в структуре их питания (энергетическая, белковая, витаминно-минеральная

недостаточность, биологическая неполноценность), что служит серьезной причиной алиментарно-зависимых заболеваний.

Негативные тенденции в состоянии здоровья детей за последнее десятилетие приобрели устойчивый характер и стали еще более очевидными, поскольку не преодолен демографический кризис, а численность населения неуклонно уменьшается. В Российской Федерации на каждую тысячу новорожденных приходится 50 детей с врожденными и наследственными заболеваниями. Физиологически протекающие роды встречаются не более чем у 30–35% женщин. Перинатальная патология регистрируется у 39% детей в неонатальном периоде и остается основной причиной младенческой смертности (13,3 на 1000). К окончанию школы более половины детей имеют ограничения в выборе профессии по состоянию здоровья. Ранняя трудовая занятость подростков является существенным фактором ухудшения их здоровья. Темпы роста предотвратимой смертности подростков выросли в 6 раз у юношей и в 3 раза у девушек, преимущественно за счет увеличения злокачественных опухолей, травматизма и отравлений, а также возникающих в результате загрязнений окружающей среды воздействий как на детей, так и на их родителей. Проведенные исследования показали, что дети являются наиболее уязвимой группой риска, у которой наблюдаются не только токсические поражения различных органов и систем, но и отдаленные, в том числе канцерогенные, эффекты. Ранняя заболеваемость и ее неуклонный рост сопровождаются увеличением числа детей-инвалидов.

Инфекционные и паразитарные болезни остаются самыми распространенными в детском возрасте, сохраняется высокая заболеваемость детей краснухой, гриппом, острыми кишечными инфекциями, туберкулезом. Одной из наиболее острых и тревожных проблем в настоящее время является распространение ВИЧ/СПИД среди детей, четко определилась крайне неблагоприятная тенденция – рождение детей от ВИЧ-инфицированных матерей (23%), не решены вопросы обеспечения лекарственными средствами для профилактики ВИЧ-трансмиссии в родах и у новорожденных детей. До настоящего времени в стране не существует специализированных научно-исследовательских учреждений, разрабатывающих проблему ВИЧ/СПИД.

Актуальными остаются проблемы диагностики и лечения внутриутробных инфекций. В условиях меняющейся экологии и снижения иммунной защиты любая инфекционная болезнь у матери может представлять опасность для плода. Поэтому необходимо внедрение новых молекулярно-генетических технологий специфической диагностики и создание биотехнологических средств нового поколения для эффективной терапии инфекционных болезней.

Высокая заболеваемость и инвалидность среди детского населения свидетельствуют о том, что проблема охраны здоровья детей переросла медико-социальный уровень. В связи с этим дальнейшее ускорение разработки научных основ охраны здоровья детей и повышение их эффективности является приоритетной проблемой, которая должна решаться на межведомственном уровне.

На фоне неуклонного уменьшения численности детей отмечаются неудовлетворительные показатели состояния их здоровья. Число детей-инвалидов в возрасте до 18 лет составляет 605 тыс. человек, оно увеличилось за

последние 5 лет на 155 тыс. При этом изменилась и структура причин инвалидности: на первое место вышла соматическая патология (34,5%). Существует тенденция к снижению числа детей, имеющих нормальную массу тела, и увеличению числа низкорослых детей. Отмечается снижение жизненной емкости легких на 15% и силовых возможностей на 20%. У 30% юношей и девушек выявляется задержка полового развития, а 40% юношей и девушек имеют болезни, которые могут ограничить возможность реализации репродуктивной функции.

За последние 5 лет заболеваемость детей в различных возрастных группах увеличилась на 18–20%. По состоянию здоровья 30% выпускников школ имеют ограничения в выборе профессии, уровень годности к военной службе не превышает 70%. Число детей с недостаточным уровнем развития школьно необходимых функций увеличилось с 20 до 41,4%. Частота психических расстройств и отклонений в поведении возросла среди подростков на 27%.

Число практически здоровых детей снизилось до 30%, нервно-психические нарушения выявляются у 60% выпускников школ. Показатели психической болезненности детского населения и подростков в два раза выше, чем взрослых, и имеют неуклонную тенденцию к росту.

За последние десять лет детский алкоголизм вырос в два раза и продолжает расти. Смертность от самоубийств очень высока по сравнению с другими странами, суициды наблюдаются даже у детей 5–10 лет.

По данным Всемирной организации здравоохранения, превышение порога 20 случаев самоубийств на 100 тысяч населения указывает на чрезвычайную ситуацию в обществе. У нас этот показатель среди подростков в возрасте от 14 до 18 лет составляет 21,55. В то же время число социальных сирот в России приближается к миллиону.

По критериям Всемирной организации здравоохранения в России недоедает 30% населения, при этом самая страдающая группа – дети от 10 до 14 лет. Смертность детей в возрасте от 0 до 5 лет превышает европейскую в 5,3 раза. Каждый грамм питательных веществ, недополученный во внутриутробной жизни, отражается на здоровье рожденного ребенка, а у нас, по существу, невозможно найти полноценно питающуюся беременную женщину.

Необходима активная государственная поддержка детства. Программы “Здоровый ребенок”, “Дети России”, “Дети-инвалиды” реализуются крайне слабо.

Совершенно очевидно, что в настоящее время для коренного улучшения ситуации с состоянием здоровья детей необходимо комплексное решение наиболее актуальных проблем детского здравоохранения. Для их решения ключевое значение имеют разработка комплексной стратегии сохранения здоровья нации, формирование и законодательное закрепление государственной политики в области охраны здоровья детей, развитие фундаментальных исследований и осуществление структурной перестройки педиатрической службы, которая, повышая качество медицинских услуг, гарантирует для детей право на доступность и бесплатность всех видов медицинской помощи.

В целях эффективного использования научного потенциала страны необходимо постоянно осуществлять российскими академиями наук, имеющими государственный статус, совместно с Министерством образования и науки

России, Министерством здравоохранения и социального развития России, Министерством сельского хозяйства России и другими ведомствами координацию фундаментальных и прикладных исследований по проблемам профилактики, диагностики и лечения детей и подростков, их образования и организации здорового питания.

Укрепление здоровья подрастающего поколения россиян, которое на 50–60% зависит от правильного питания, профилактика заболеваний, обеспечение безопасных условий их жизнедеятельности во многом будут зависеть от успешной реализации национальных приоритетных проектов, открывающих новые возможности в медицинском обеспечении детей и подростков, в развитии концепции здорового питания, в создании здоровых жилищных условий.

Повышение конкурентоспособности России на мировом уровне во многом определяется благополучием и здоровьем населения, и в первую очередь детей, их успешным развитием, своевременным включением в социально значимую деятельность, что определяет будущее любой страны. Чем ниже качество жизни детей, тем выше риск роста масштабов бедности, ухудшения показателей здоровья, социальной напряженности и экономической нестабильности. Предотвращение этих негативных тенденций – ключевая задача государственной политики.

Деятельность академий наук, имеющих государственный статус, направлена на решение задач, определенных в Программе социально-экономического развития страны на среднесрочную перспективу (2006–2008 гг.), в Концепции модернизации российского образования на период до 2010 года, приоритетных национальных проектах в сфере здравоохранения, образования, сельского хозяйства и жилищного строительства.

Исследования и разработки ориентированы на решение проблем охраны и укрепления здоровья обучающихся детей и подростков, поиск отвечающих им решений по строительству и реконструкции зданий общеобразовательных учреждений, адекватных режимов учебной деятельности, организации учебного процесса, обеспечения учащихся здоровым питанием, развитие личности, повышение качества жизни и образования человека, раскрытие его всестороннего потенциала в условиях глобализации, укрепления стабильности социокультурной базы жизнедеятельности российского общества.

Здоровье детей и подростков в значительной степени формируется под влиянием градо-экологического и архитектурно-художественного состояния среды обитания. От качества архитектурно-градостроительных решений зависит состояние здоровья, воспитания и образования детей. Требуется всестороннего изучения влияние на здоровье и психику детей световой и цветовой среды, объемы помещений и их ориентация, применение новых строительных материалов. Необходим комплексный подход к формированию среды жизнедеятельности подрастающего поколения, совместное определение основных функциональных, технических и эстетических сторон пространственной организации зданий, сооружений и их комплексов, обеспечивающих физическое и психическое здоровье детей. Необходимо ввести научные и проектно-экспериментальные разработки типологии зданий и сооружений для детей, где оптимально сочетались бы требования по медицинским, педагогическим, общеразвивающим показателям, формирующим полноценного человека.

В этой связи необходимы специальные разделы в национальных проектах, посвященные детям.

Наличие причинно-следственной зависимости в системе “здоровье детей – условия организации образовательного процесса” имеют особую актуальность. И связано это, прежде всего, с тем, что современные инновационные процессы в образовании происходят на фоне неблагоприятного состояния здоровья детей и подростков России. Целью проводимой модернизации образования является: повышение качества образовательного процесса, совершенствование его структуры, укрепление здоровья учащихся и обеспечение психологического комфорта обучающихся, подготовка учащихся к будущей успешной интеграции во взрослое общество. Проводимая модернизация школьного образования должна содействовать изменению негативной тенденции существенного ухудшения состояния здоровья детей и подростков в последние годы.

Доказано, что большая учебная нагрузка создает серьезные препятствия для реализации возрастных биологических потребностей детского организма в сне, двигательной активности, пребывании на воздухе. Напряженный характер учебы, значительный объем учебного материала, дефицит времени для усвоения информации являются выраженными психотравмирующими факторами для ребенка, что в сочетании с уменьшением продолжительности сна и прогулок, снижением физической активности оказывает стрессорное воздействие на развивающийся детский организм, формирует невротические расстройства с последующими нарушениями работы сердца, желудочно-кишечного тракта, других органов и систем.

Степень утомления учащихся, уровень их невротизации, эмоциональный комфорт и, в конечном итоге, состояние здоровья детей зависят не только от объема учебной нагрузки и её содержания, но также и от методов, режимов и технологий обучения, от качества школьных помещений.

Организация начавшегося в порядке “пилотного” проекта дошкольного образования в обязательном порядке должна учитывать то обстоятельство, что у детей шести лет диагностируется наиболее высокий уровень школьной дезадаптации и тревожности, лежащих в основе нарушений их психического здоровья. Раннее начало обучения детей пяти лет без соблюдения надлежащих условий приведет к ухудшению их здоровья, которое сегодня вызывает большую тревогу. Форсированная выработка у дошкольников готовности к обучению негативно отражается на их психическом и физическом здоровье, развитии, гармоничном включении в школьную жизнь.

Санитарно-эпидемиологическое состояние большинства школьных зданий и их оборудования не позволяет развернуть эффективное обучение и воспитание детей с целью выравнивания стартовых возможностей к систематическому обучению в школе, а материально-техническая база многих образовательных учреждений, и прежде всего дошкольных, особенно в сельской местности, разрушена и требует коренного улучшения.

Важной межведомственной и междисциплинарной проблемой является введение профильного обучения старшеклассников. В школе практически отсутствует система психолого-педагогической поддержки для формирования у подростков осознанного выбора профиля обучения. Всего 8–10% учащихся при выборе профессии используют помощь школы, т.е. в сложившихся ус-

ловиях школа мало влияет на процесс профессионального самоопределения школьников. Подавляющее большинство юношей и девушек, заканчивающих школу, имеют ограничения в выборе профессий, причем численность подростков с ограниченным по состоянию здоровья профессиональным выбором за последние 10 лет увеличилась практически на одну треть.

Современные компьютерные информационные технологии являются весьма агрессивной средой для детей и подростков, что требует нового подхода к планировке и архитектуре помещений с учетом требований информационной культуры школьников.

Опыт увеличения объемов физкультурных занятий до 3–5 часов в неделю способствует снижению острой заболеваемости в 3–4 раза, повышению уровня физической подготовленности учащихся, уменьшению распространенности курения и употребления спиртных напитков среди детей и подростков. Однако состояние и количество спортивных залов и бассейнов в школьных зданиях основательно отстает от западных образцов.

Медицинской и сельскохозяйственной науками обоснованы нормативы и принципы организации здорового питания детей и подростков в образовательных учреждениях. Разработаны методические рекомендации по внедрению системы экологического мониторинга при производстве детских продуктов гарантированного качества и их сертификации.

Недостаточное финансирование, слабая инфраструктура и материально-техническая база питания в образовательных учреждениях, медленное внедрение новых форм организации питания, основанных на использовании продуктов повышенной пищевой ценности, недостаточная эффективность производственного контроля усугубляют негативное влияние среды образовательных учреждений на здоровье детей.

От пространственной организации системы детских учреждений, типологии, новых норм и стандартов зданий, учитывающих специфику детского организма, психологию, методику обучения, зависит полноценное формирование человека. При проектировании и строительстве детских учреждений особо следует учитывать вопросы безопасности. Развитие отечественной градостроительной и архитектурно-строительной науки следует считать основой охраны и укрепления здоровья детей, их всестороннего культурного и художественного воспитания, устойчивого развития современного общества.

Научно обоснованное решение современных проблем гигиены окружающей среды и экологии человека являются основой обеспечения безопасных условий роста и развития детей и подростков, в подготовке которого активное участие приняли ученые академий, имеющих государственный статус. Профилактика рисков для здоровья форм поведения детей и подростков – важный резерв снижения их заболеваемости и социальной дезадаптации. Разработаны научные основы массовых программ профилактики детского травматизма, нарушений репродуктивного здоровья девочек, табакокурения, наркозависимости и психогигиены.

Требуется разработка соответствующей Государственной программы по формированию здорового образа жизни детей, подростков и молодежи. В формировании здоровья и заболеваний детей и подростков важна роль семьи и институтов гражданского общества. Российские ученые участвуют в реализации

проекта Европейского регионального бюро Всемирной организации здравоохранения “Европейская сеть школ, содействующих укреплению здоровья”.

Решение накопившихся в сфере образования, здравоохранения, градостроительства и обеспечения детей и подростков здоровым питанием в образовательных учреждениях проблем, достижение целей образовательной политики, определённых Концепцией модернизации российского образования на период до 2010 года, Концепцией государственной политики в области здорового питания населения Российской Федерации и другими документами, требуют скоординированной и системной работы коллективов образовательных и медицинских учреждений, органов государственной власти, местного самоуправления, общественных организаций.

Научный потенциал академий наук, имеющих государственный статус, позволяет обеспечить научные основы сопровождения развития приоритетных национальных проектов в сфере здравоохранения, образования, сельского хозяйства и доступного обеспечения жильём с целью формирования здорового поколения россиян, а также выход России из демографического кризиса и решение других важнейших социально-экономических проблем общества.

НАУЧНАЯ СЕССИЯ АКАДЕМИЙ НАУК, ИМЕЮЩИХ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАТУС,

РЕШИЛА:

1. В соответствии с утверждёнными Президентом Российской Федерации Приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники в Российской Федерации 21 мая 2006 г. (№ Пр-843), а также рассмотренными на данной Научной сессии вопросами и внесёнными предложениями **считать важнейшими направлениями в области фундаментальных исследований по проблемам здоровья и образования детей:**

- комплексные исследования в современных условиях возрастно-половых закономерностей роста, развития и формирования здоровья человека от рождения и на последующих стадиях жизненного цикла;
- совершенствование критериев и подходов к оценке состояния здоровья на индивидуальном и популяционном уровнях;
- совершенствование подходов к оценке нутриентной адекватности нового поколения специализированных продуктов детского и лечебного назначения;

разработку:

- новых возрастных нормативов развития детей и подростков, критериев оценки адаптационных возможностей детей к учебным нагрузкам и к воздействию факторов среды;
- новых технологий сохранения здоровья, основанных на прогнозе адаптации, повышении функциональных резервов организма и воздействии на факторы риска;
- медико-педагогических критериев, нормативов и показателей адекватности учебных нагрузок, программ и технологий обучения функциональным возможностям детей;

- медико-биологических основ биологической и химической безопасности жизнедеятельности детей и подростков;
- пространственной организации системы детских учреждений в городах и сельских населенных пунктах страны, норм и стандартов проектирования зданий, сооружений и их комплексов с учетом современной методики образования и требований здравоохранения, разработку современной типологии детских учреждений с учетом их безопасности.

2. Просить Правительство Российской Федерации:

2.1. Инициировать подготовку и принятие Федеральным Собранием Российской Федерации Федерального закона “Об охране здоровья детей и подростков”.

2.2. При планировании приоритетных национальных проектов в сфере здравоохранения, образования и сельского хозяйства в 2007 и последующих годах включить в них Программы медицинского обеспечения детей и подростков в образовательных учреждениях (“школьное здравоохранение”), обеспечения детей и подростков здоровым питанием в образовательных учреждениях (“школьное здоровое питание”), развития физической культуры и спорта на базе образовательных учреждений.

2.3. Предусмотреть в 2007 году:

- выделение дополнительных средств на восстановление базы отдыха детей и подростков, а также на проведение комплексных мероприятий по профилактике микронутриентной недостаточности среди детей и подростков в северных регионах страны;

- увеличение финансирования Федеральной целевой программы “Дети России” и подпрограммы “Здоровый ребёнок” в части медицинского обеспечения детей и подростков в образовательных учреждениях, а также в обеспечении расширения календаря профилактических прививок;

- государственный заказ на разработку подпрограмм “Формирование здорового образа жизни детей и подростков” и “Охрана репродуктивного здоровья детей и подростков” в рамках Федеральной целевой программы “Дети России”;

- разработку в рамках национальных проектов новой целевой программы “Развитие индустрии детского питания на 2007–2010 годы”;

- меры по расширению отечественного производства продуктов повышенной пищевой и биологической ценности для обеспечения питания детей в образовательных и лечебных учреждениях;

- выделение средств на улучшение ресурсного обеспечения системы образования и медицинского обеспечения детей и подростков в образовательных учреждениях на базе новых принципов финансирования, основанных на использовании программно-целевого метода, введении нормативного бюджетного финансирования образовательных учреждений, финансирования школьной медицины как первичного звена здравоохранения;

- рассмотрение вопроса о развитии педиатрической науки и модернизации её материально-технической базы;

- принятие Государственной программы по реабилитации здоровья подростков, проживающих на территориях, подвергшихся экологическим и техногенным катастрофам, а также регионам, где проводились антитеррористические операции.

3. Рекомендовать Министерству образования и науки Российской Федерации:

3.1. Создать на базе высших учебных заведений в медицинских и немедицинских вузах структурные подразделения, занимающиеся образовательной политикой в области охраны здоровья молодежи и основ семейных отношений.

3.2. Создать сеть экспериментальных площадок на базе крупных вузов России и других образовательных учреждений системы непрерывного образования по выработке образовательных программ в области охраны здоровья и программ мониторинга показателей здоровья детей, подростков и молодежи.

3.3. Объявить конкурс (или серию грантов) на лучшее образовательное учреждение средней и высшей школы по формированию здоровьесберегающего образовательного пространства.

3.4. Разработать и включить в образовательный курс средней школы программу “Основы семейных отношений” с подразделами: физиология семейных отношений, экономика семейного бюджета, культура и эстетика питания, психология семейных отношений, формирование здорового образа жизни в семье, юридические основы семейных отношений.

4. Рекомендовать Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека разработать:

4.1. Эффективные методы и нормативы определения безопасности и пользы для здоровья различных продуктов питания, поступающих на российский потребительский рынок, ориентированных на детский и подростковый контингент.

4.2. Систему контроля эффективности и комплексности региональных программ, направленных на повышение уровня здоровья населения страны.

5. Просить Торгово-промышленную палату Российской Федерации создать независимый национальный центр по мониторингу контроля подлинности, безопасности и качества товаров и услуг, реализуемых на потребительском рынке России.

6. Просить Федеральное агентство по печати и массовым коммуникациям существенно расширить эфирное время на центральных и региональных каналах теле-, радиопередач для детей и юношества, развивающих творческие, технические, научные интересы и интеллектуальную активность молодых людей, формирующих у них осознанную потребность к здоровому образу жизни. Предусмотреть возможность создания с 2007 года государственного “Образовательного телевизионного канала”.

7. Просить Общественную палату Российской Федерации создать рабочую экспертную группу из специалистов по согласованию и контролю тем, качества, творческого, информационно-воспитательного, развивающего уровня теле-, радиопередач для детей и юношества.

8. Просить законодательные инстанции субъектов Российской Федерации разработать региональные законы с наиболее благоприятными условиями деятельности коммерческих, общественных и благотворительных организаций, выделяющих денежные, материальные и людские ресурсы для строительства, оборудования и организации работы реабилитационных,

творческих, технических и спортивных центров, действующих на безвозмездной основе для детей и подростков.

9. Президиумам академий наук, имеющих государственный статус:

9.1. В целях возрождения профилактической направленности российского здравоохранения рекомендовать Министерству здравоохранения и социального развития Российской Федерации включить в программу обязательного медицинского страхования технологию “Навигатор здоровья”, разработанную в ГНУ РФ ИМБП РАН, одобренную Росздравнадзором в 2006 году и включенную в Госреестр медицинских технологий. Использовать данную технологию при проведении диспансеризации детей и молодежи и оформлении индивидуального паспорта здоровья учащихся.

9.2. Просить Министерство здравоохранения и социального развития и Министерство образования и науки Российской Федерации ходатайствовать перед субъектами Российской Федерации, органами управления здравоохранением и образованием:

- об увеличении финансирования программ охраны здоровья учащихся, организации здорового питания и медицинской помощи детям и подросткам в образовательных учреждениях;
- о поддержке развития сети школ, содействующих укреплению здоровья детей.

Просить Министерство регионального развития Российской Федерации сформировать с участием академий, имеющих государственный статус, Координационный совет по пространственной организации системы детских учреждений в городах, городских и сельских населенных пунктах, реализуемой в рамках приоритетного национального проекта “Доступное жилье – гражданам России”.

9.3. Совместно с федеральными органами исполнительной власти и другими ведомствами постоянно:

- осуществлять координацию фундаментальных и прикладных исследований по проблемам здоровья и образования детей и подростков;
- содействовать эффективной работе Координационного совета президиумов Российской академии медицинских наук и Российской академии образования “Здоровье и образование детей, подростков и молодежи”.

9.4. Считая здоровье и образование детей, создание условий для их полноценной жизни важнейшей государственной задачей, для обеспечения устойчивого развития российского общества президиумам академий наук, имеющих государственный статус, подготовить Федеральную целевую программу по фундаментальным проблемам в сфере охраны здоровья и образования подрастающего поколения и представить в 2007 году Программу на рассмотрение Правительства Российской Федерации.

10. Академикам-секретарям отделений академий наук, имеющих государственный статус, руководителям научных учреждений предусмотреть при планировании НИОКР комплексные разработки по приоритетным направлениям:

- оценка современных инновационных форм обучения, в том числе дистанционного, интернет-образования с позиций медико-биологических, пси-

холого-педагогических требований, а также функциональных и возрастных особенностей детей;

- современные технология и техника производства нового поколения продуктов нутриентно адекватных специфике беременных и кормящих женщин, здоровых и больных детей с различными метаболическими статусами;

- современные технологии медико-психолого-педагогической поддержки учащихся образовательных учреждений, осуществляемой врачами, психологами, педагогами и социальными работниками;

- обоснование, оценка эффективности и внедрение здоровьесберегающих образовательных технологий;

- психолого-педагогические и физиолого-гигиенические основы профильного обучения;

- разработка современных научных положений медицинской и психофизиологической профориентации и консультации в системе общего и профессионального образования;

- совершенствование форм и методов физического воспитания детей и подростков как одной из базовых дисциплин общеобразовательной школы;

- физиолого-гигиеническое обоснование удобочитаемости информации на видеодисплеях; разработка гигиенических требований к многоцветным дисплеям и характеристикам, обеспечивающим визуальный комфорт пользователей персональных компьютеров; регламентация предельно допустимой продолжительности занятий с использованием информационных технологий в зависимости от возраста учащихся и содержания занятий;

- типология, нормы и стандарты при проектировании зданий, сооружений и комплексов для детских учреждений с учетом современных требований охраны здоровья, методики обучения и безопасности;

- научное обоснование методических подходов и алгоритма оценки риска развития школьно обусловленных заболеваний;

- обоснование современной системы медицинского обеспечения учащихся учреждений начального и среднего профессионального образования;

- обоснование медицинского обеспечения военно-патриотической и морально-этической подготовки молодежи;

- научные основы разработки, внедрения и оценки эффективности массовых профилактических программ в современных условиях;

- оценка современных архитектурно-планировочных решений образовательных учреждений в различных регионах страны, создание современной образовательной среды обучения детей и подростков в сельских территориях путем формирования групповых систем расселения с охватом более крупных поселений, включая городские;

- разработка специальных образовательных программ, мероприятий, направленных на снижение поведенческих рисков, представляющих опасность для здоровья, привитие устойчивых навыков безопасного поведения, программ гигиенического воспитания участников образовательного процесса и родителей;

- разработка научных обоснований основ формирования устойчивых градоэкологических условий, обеспечивающих духовное и физическое здоровье детей в крупных городах.

11. Редакционно-издательскому совету Российской академии медицинских наук предусмотреть издание материалов настоящей Научной сессии, а также трудов по наиболее актуальным и перспективным направлениям охраны здоровья детей на современном этапе, по профилактике заболеваний детей, созданию новых реабилитационных и оздоровительных технологий.

Президент РАН
академик



Осипов Ю.С.

Президент РАМН
академик РАН и РАМН



Давыдов М.И.

Президент РАО
академик РАО



Никандров Н.Д.

Президент РАСХН
академик РАСХН



Романенко Г.А.

Президент РААСН
академик РААСН



Кудрявцев А.П.

Президент РАХ
академик РАХ



Церетели З.К.

**ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК**

“Русский язык в современном мире”

19 декабря 2007 года

РУССКИЙ ЯЗЫК – ОТРАЖЕНИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ КАРТИНЫ МИРА

*Вступительное слово Президента РАН
академика Ю.С. Осипова*

Завершается 2007 год, который, как вы знаете, был объявлен в нашей стране Годом русского языка. Должен сказать, что Академия наук явилась одним из инициаторов этого события и горячо приветствовала соответствующее решение руководства страны, которое показало, что со всей серьёзностью относится к вопросам развития национального языка и национальной культуры.

Развитие нашего общества невозможно без усиления его гуманитарной составляющей. Это, в свою очередь, предполагает повышенное внимание и поддержку гуманитарных исследований и специалистов в области гуманитарных наук, в том числе русского языка.

Справедливости ради надо сказать, что в нашей академии Год русского языка наступил давно. Несмотря на все проблемы, с которыми академия сталкивалась в последние годы, её работа в сфере филологии и истории никогда не прерывалась и была многотрудной, содержательной, яркой, плодотворной. Приведу лишь некоторые примеры. Так, в 2004 г. началось издание Большого академического словаря русского языка – грандиозного труда, который, как предполагается, составит примерно 40 томов. Уже выпущено в свет семь томов этого замечательного издания. Создан новый Толковый словарь русского языка, включающий не только толкование слов, но и сведения об их происхождении. Невозможно переоценить значение такого рода лексикографических достижений для развития и совершенствования русского литературного языка. Той же цели служит и создание Национального корпуса русского языка, осуществлённое в Академии наук. Это гигантское по объёму и значению электронное представление русского языка, которое открывает новые перспективы для русистики во всём мире.

Богатство русского литературного языка неразрывно связано с классической русской литературой. Именно из неё черпаются образцы правильной и выразительной русской речи. С этой точки зрения огромное значение имеют академические издания классиков русской литературы. В последние годы

эта работа ведётся очень успешно. Завершено издание академических собраний сочинений Есенина, Хлебникова, Ремизова, продолжают выходить в свет тома собраний сочинений Пушкина, Гоголя, Льва Толстого, Блока, Горького, Платонова, подготовленные в соответствии с новейшими требованиями филологической науки.

Русская филология развивается в тесном взаимодействии с исторической наукой. Наши историки и археологи не только воссоздают картину, на фоне которой происходило развитие национального языка и культуры, но и вносят вклад в сокровищницу памятников русской письменности. Вы знаете, что мы обязаны Новгородской археологической экспедиции и академику В.Л. Янину тем, что были найдены новые новгородские берестяные грамоты. Это блестящее достижение археологической науки. Однако нужно было не только обнаружить исторический документ, но и расшифровать его. Здесь выдающуюся роль сыграли лингвисты, чьи исследования позволили понять и интерпретировать древние тексты.

Следует напомнить, что в соответствии с нашей гуманитарной традицией Академия наук ответственна за поддержание норм русского языка, его чистоты и правильности. Общеизвестно, что к выработке нормативной основы языка академия приступила ещё в 1724 г., в те времена, когда Михаил Васильевич Ломоносов создавал первую русскую грамматику, переводил на родной язык фундаментальные научные труды. Можно сказать, что тем самым Ломоносов утвердил русский язык в науке.

Екатерина Великая, все вы знаете, учредила Академию Российскую как центр по изучению русского языка и словесности во главе с Екатериной Романовной Дашковой, и впоследствии она вошла в качестве второго отделения в Императорскую академию наук. Российской академии была поручена подготовка академической грамматики и академического словаря, в который, как мы помним, заглядывал и Александр Сергеевич Пушкин. С тех пор академия продолжает неутомимо заниматься жизненно важным для нашего общества исследованием развития национального языка и словесности, протянув линию преемственности от академиков Востокова и Грота, Шахматова и Виноградова к нашим дням и нашим современникам. Авторитет Академии наук имеет решающее значение для поддержания в обществе стабильности языковых норм и культуры русской речи.

Не стану умалчивать, что в адрес Академии наук в связи с этой деятельностью порой звучали упрёки. Но они не имели под собой никакого серьёзного основания, ибо являлись следствием недостаточной осведомлённости о том, что реально делается.

Нельзя недооценивать роль российской науки в поддержании международного статуса русского языка. Сейчас нередко говорят о необходимости продвигать русский язык на международную арену, расширять его присутствие в мире. Но не стоит забывать, что Академия наук всегда успешно выполняла эту задачу. Престиж русского языка во многом обеспечивался престижем отечественной науки. Сейчас не только в России, но и на всём пространстве бывшего Советского Союза наука по-прежнему существует преимущественно на русском языке, мы все это хорошо знаем. Тот, кто приступает к научным занятиям, считает для себя непременным условием изучение русского языка и русской научной литературы. Учёные стран СНГ

ведут научные дискуссии на русском языке, поскольку он располагает всеми необходимыми терминологическими средствами для обсуждения научных проблем в любой отрасли знания. Они пользуются русскими учебниками для преподавания в высшей школе. Сказывается высокий авторитет российской науки вообще и Российской академии наук в частности. Мы сумели сохранить этот авторитет в трудное для науки время, тем более нужно обеспечить условия, чтобы и впредь академия могла успешно выполнять миссию поддержания позиций русского языка в мире. Огромная роль здесь принадлежит нашей системе образования.

Русский язык – одно из наших главных культурных достояний, в нём запечатлелась национальная картина мира. В его истории отражается вся история культуры страны. Мы видим возрастающий интерес к русскому языку со стороны различных государственных и общественных организаций, институтов, со стороны общества в целом. Этот интерес должен вылиться в активное развитие науки о национальном языке, его истории, изменении во времени и функционировании. Такое развитие требует междисциплинарного подхода, учитывающего достижения не только гуманитарных наук, но и естественных, включая психологию, информатику, математику. Именно во взаимодействии с этими дисциплинами должна формироваться фундаментальная наука о русском языке. На основе её достижений следует формулировать государственную языковую политику, которая не может быть сведена только к борьбе за чистоту русского языка – её задачи гораздо шире. Я уверен, что Академия наук внесёт в этот процесс весомый вклад.

Пользуясь случаем, я хотел бы ещё раз подчеркнуть, что обсуждаемая сегодня тема непосредственно связана с развитием гуманитарного направления в науке. Лицо нашей академии определяют не только выдающиеся достижения в области естественных и технических наук, но также гуманитарных и общественных. Именно они вносят основополагающий вклад в духовно-нравственное развитие общества и воспитание человека. Картины родной истории, произведения словесности формируют фундамент национального самосознания. Думаю, что в ближайшем будущем роль гуманитарной составляющей в российском обществе будет неизмеримо более высокой (по крайней мере, хочется на это надеяться).

Прежде чем предоставить слово докладчикам нынешней научной сессии, скажу несколько слов о второй половине нашего заседания, когда состоится обсуждение очень важного вопроса. После нашей встречи в мае месяце произошли значимые события. Кратко упомяну о них.

На мой взгляд, главное событие прошедшего полугодия – выход Постановления Правительства РФ об утверждении Устава РАН*. Не буду сейчас говорить о том, какая огромная работа стоит за этим событием. Существенно, что в итоге общими усилиями академии и ряда министерств утверждён Устав, в котором сохранены все основные принципы нашего устройства. Академик Ю.А. Осипьян выступит и расскажет об этом подробнее.

Следующий важный момент – это, конечно, переход ко второму этапу реализации пилотного проекта. Вы знаете, как важно было ещё раз существ-

* Устав был утверждён Постановлением Правительства РФ от 19 ноября 2007 г. № 785. – *Прим. ред.*

венно увеличить бюджетную составляющую зарплаты наших сотрудников. И это удалось сделать.

Исключительное значение имеет заседание Совета по науке, которое проводил Президент В.В. Путин. Это заседание состоялось у нас в академии. Рассматривался вопрос о программе фундаментальных исследований академического сектора науки. Президент дал указание как можно быстрее завершить утверждение этой программы и принятие соответствующих решений. Он также заверил, что наука будет стабильно поддерживаться государством, в том числе её ресурсная база, и объём ресурсов из года в год предполагается увеличивать. Я считаю это принципиальным. Может быть, впервые за последние восемь лет Президент выступил с таким обнадеживающим заявлением.

Вы также знаете, что Президент страны, а затем и Правительство Российской Федерации приняли ряд важных решений по развитию нанотехнологий. Этот проект по масштабам, по крайней мере ресурсной поддержки, выходит далеко за рамки того, что мы видели даже в последние советские годы. Мы проанализировали ситуацию в области нанотехнологий в Академии наук. Получается, что почти каждый четвёртый институт академии в той или иной мере этой проблематикой занимается. Необходимо принять самое активное участие в осуществлении этого государственного проекта, это наша прямая обязанность. Здесь потребуются новые подходы, может быть, новая организация дела, но мы должны, повторяю, активно и плодотворно участвовать в осуществлении данной программы. От её успеха зависит очень многое.

Президиум Академии наук принял ряд решений, связанных с развитием исследований в области нанотехнологий и реализацией государственной программы. С этой целью создана специальная комиссия, которую согласился возглавить академик Ж.И. Алфёров. Сегодня комиссия представит Общему собранию информацию о программе фундаментальных исследований в данной области. Думаю, что авторитет Жореса Ивановича Алфёрова и консолидация основных специалистов в данной области позволят Академии наук занять достойное место в осуществлении грандиозного государственного проекта.

РУССКАЯ ФИЛОЛОГИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

А.Б. Куделин

Завершается 2007 год, объявленный Указом Президента Российской Федерации Годом русского языка. Во исполнение данного Указа Правительство РФ и Президиум РАН приняли постановление, в котором утвердили План мероприятий РАН по проведению Года русского языка. Пришло время подвести итоги и в этой связи попытаться в самых общих чертах определить современное состояние русской филологии в Российской академии наук.

Филологические исследования, и прежде всего в области русского языка и литературы, как было сказано во вступительном слове президента РАН академика Ю.С. Осипова, с самого учреждения Академии Российской занимали заметное место в её научной программе. Славные традиции выдающихся отечественных филологов-русистов продолжают и в наши дни.

Лингвистика второй половины XX в. поставила ряд нетрадиционных задач перед русским языкознанием, и достижения последних лет позволяют сказать, что русистика справилась с этим вызовом. Успешно развиваются такие направления, как когнитивная и корпусная лингвистика, семантико-семасиологические исследования, функциональная грамматика, исследования социальной стратификации в языке, изучение дискурсивных стратегий и специфики разговорной речи. Фундаментальные инновации характеризуют и русское историческое языкознание. В частности, новое направление получило изучение восточнославянской исторической диалектологии в связи с реконструкцией древненовгородского диалекта. Основополагающие лексикографические работы позволили по-иному увидеть развитие словарного состава и процессы в исторической грамматике русского языка. Этнолингвистические исследования проливают свет на специфику в развитии религиозно-мифологических и обрядовых понятий восточных славян. Исследования произведений русской словесности от древности до наших дней дали новый импульс осмыслению проблем письменного языка и исторической динамики языковых норм. Если сопоставить нынешнюю ситуацию с тем, что было 50 лет назад, можно сказать, что облик русского языкознания радикально изменился. Немалую роль в этом сыграло широкое взаимодействие со смежными дисциплинами: не только с такими традиционно близкими языкознанию областями, как история, философия, археология, литературоведение, но и с математикой, биологией, нейрофизиологией, психологией и т.д. Сегодняшние лингвистические исследования отличаются высоким уровнем междисциплинарности.

Когнитивная лингвистика рассматривает язык как основной инструмент человеческого сознания. Явления, которые присутствуют во всех языках (так называемые языковые универсалии), свидетельствуют о единстве человеческого сознания, о том, что *Homo sapiens* представляет собой опознаваемый единый субъект, а не коллекцию не похожих друг на друга существ. Вместе с тем языки обнаруживают существенные несходства в своей грамматической и семантической организации. Языковеды высказывали предположение, что структура языка прямо влияет на структуру сознания и поэтому категории сознания в разных языковых коллективах различны (так называемая гипотеза Сепира–Уорфа). Такие свойства языков описываются понятием языковой картины мира. Русская языковая картина мира в последнее время исследовалась в разных аспектах, и эти исследования были весьма плодотворны.

С одной стороны, в рамках проекта члена-корреспондента РАН Н.Д. Арутюновой “Логический анализ языка” (нашедшем отражение в одноимённом многотомном издании) было подробно изучено языковое выражение таких фундаментальных областей человеческой деятельности, как модели действия, ментальные действия, речевые действия, ориентация человеческой культуры в пространстве и времени, хаосе и космосе, этические параметры, прагматика смеха и т.д. Исследования основывались на представлении о том,

что в образовании высказывания действуют разнородные факторы: ментальные категории и знания о мире, ценностные системы, “житейская логика”, целеполагание высказывания и иные его прагматические аспекты. Изучение языка в этих ракурсах сближает языкознание с философией, психологией, антропологией и указывает на смещение интересов лингвистики от чисто структурных к общегуманитарным, связанным с представлением о языке как феномене культуры. В этом же русле развивалось и исследование концептов русской культуры. Данное направление, в котором работают академик Ю.С. Степанов и его последователи, представляет русскую культуру как целостную семиотическую систему, состоящую из множества взаимодействующих концептов, в которых актуальное культурное сознание сочетается с осознаваемой культурной историей. Одним из фундаментальных результатов этих работ стала монография Ю.С. Степанова “Константы: Словарь русской культуры. Опыт исследования” (1997).

В несколько другом направлении идут исследования московской семантической школы, возглавляемой академиком Ю.Д. Апресяном. Изучая русскую языковую картину мира, представители этой школы исходят из идей системной лексикографии, в которой лексическая система включается в интегральное описание языка, а языковая картина мира восстанавливается на основе словаря в целом – в большей степени, чем на основе отдельных концептов. Такой подход позволяет выделить универсальные и этноспецифичные элементы языка, которые понимаются как отражающие особый способ мирозидения, присущий данному языку, культурно значимый для него и отличающий его от каких-то других языков. Исследователи этого направления подчёркивают, что картина мира, отражающаяся в языке, отличается от научной картины мира и поэтому может рассматриваться как “наивная” картина мира. В недавней коллективной монографии, посвящённой этой проблематике, – “Языковая картина мира и системная лексикография” (2006) были проанализированы основные теоретические вопросы данного подхода. Для школы Ю.Д. Апресяна исследования языковой картины мира являются частью более общей программы семантических штудий, которые в своей совокупности вывели семантико-семасиологические исследования на принципиально новый уровень. В этой связи нельзя не упомянуть “Новый объяснительный словарь синонимов русского языка” (1997–2003; 2-е изд. – 2004) – капитальный труд, в котором анализируются несколько десятков семантических групп. Анализ включает формализованное толкование, описание семантической сочетаемости и идиоматических свойств по унифицированной схеме, ориентированной на переход от смысла к тексту.

Важным этапом русистики должно стать издание “Русского семантического словаря” под руководством академика Н.Ю. Шведовой (вышло 4 тома из 6). В словаре, охватывающем около 300 тыс. лексических единиц, значения сгруппированы по частям речи и далее – по лексико-семантическим классам слов и их отдельным участкам.

Рассмотренные исследования всё в большей степени обращаются к реальным текстам на русском языке: современная семантика апеллирует не к абстрактным понятиям семантической правильности и внутреннему чувству лингвиста – носителя исследуемого языка, а к засвидетельствованному в устных и письменных текстах употреблению. Это употребление отнюдь не

всегда последовательно, и одна из задач, поставленных современным языкознанием, – объяснить природу, а по возможности и причины этой непоследовательности. Такая общая тенденция современного языкознания привела к возникновению корпусной лингвистики. Требуемая работы с большими объёмами информации и быстрой их обработки по целому комплексу параметров корпусная лингвистика стала возможной благодаря развитию компьютерной техники. Построение лингвистических корпусов, включающих тексты общей длиной в многие миллионы слов, является особым представлением языка. Поскольку тексты обладают грамматической разметкой, поиск в корпусе приносит совокупность грамматических и семантических контекстов, в которых может употребляться каждый данный лингвистический элемент. Такой поиск открывает совершенно новые перспективы. Это послужило стимулом для конструирования национальных корпусов ряда крупнейших языков, что стало особой лингвистической задачей, поскольку должна быть обеспечена их репрезентативность в плане и речевых жанров, и тематических сфер, и стилистической дифференциации. Национальный корпус русского языка в своей основе создан группой исследователей под эгидой Института русского языка им. В.В. Виноградова РАН и теперь продолжает пополняться и совершенствоваться. Следует подчеркнуть, что в настоящее время Национальный корпус русского языка – едва ли не самый совершенный из существующих в мире языковых корпусов с наиболее полной и продуманной разметкой и разнообразными возможностями поиска.

Больших успехов за последние десятилетия достигла функциональная грамматика русского языка. Это направление, развиваемое преимущественно петербургской лингвистической школой под руководством члена-корреспондента РАН А.В. Бондарко, ориентировано на построение грамматики от семантики к средствам её выражения. Функциональная грамматика – это категориальная грамматика, направленная на описание системы семантических категорий языка; она находится в отношениях взаимной дополнительности с коммуникативной грамматикой. В фундаментальном шеститомном издании “Теория функциональной грамматики” (1982–1996) трактуются такие категории, как аспектуальность, временная локализованность и таксис; темпоральность и модальность; персональность и залоговость; субъектность, объектность и коммуникативная перспектива высказывания; определённости–неопределённости; качественность и количественность; локативность, бытийность, посессивность. Теоретические итоги исследований в этой области подведены в монографии А.В. Бондарко “Теория значения в системе функциональной грамматики: На материале русского языка” (2002).

Социальные сдвиги, имевшие место в последние два десятилетия, обусловили повышенный интерес как научного сообщества, так и населения в целом к проблемам социальной и нормативной дифференциации языковых средств. Это сделало вновь весьма актуальными социолингвистические исследования русского языка, активно проводившиеся в 1960-е годы в рамках проекта М.В. Панова “Русский язык и советское общество”, но затем постепенно угасшие. Новые исследования сотрудников Института русского языка РАН, а отчасти также Института лингвистических исследований РАН позволили создать убедительную картину социолингвистического раз-

вития русского языка в конце XX в. и в начале нового тысячелетия. В ходе работ удалось существенно уточнить понятие нормативности в языке, полнее определить социальную базу носителей нормативного языка, построить их речевой портрет и описать социальную функцию престижной нормативной разновидности (работы Л.П. Крысина, коллективная монография “Русский язык конца XX столетия” под редакцией Е.А. Земской).

Изучение современного русского языка невозможно в отрыве от изучения его истории. В этом плане последние десятилетия были чрезвычайно плодотворными. Важнейшим основанием лингвистических работ стало продолжающееся издание “Этимологического словаря славянских языков” (опубликовано 33 тома). Главный труд академика О.Н. Трубачёва, фундаментальный словарь, опирающийся на материалы всех славянских языков, представляет уникальную реконструкцию праславянского лексического фонда. Оригинальность, новизна и актуальность подхода, осуществляемого в словаре, признаны в мировой науке. Он имеет не только большое собственно научное значение, но представляет собой значительное явление общекультурного звучания. Если говорить о собственно русской этимологии, то здесь в течение долгого времени образцом был знаменитый “Этимологический словарь русского языка” М. Фасмера. В последние годы, однако, ситуация коренным образом изменилась. На базе созданной в Институте русского языка современной этимологической картотеки членом-корреспондентом РАН А.Е. Аникиным начато издание фундаментального “Русского этимологического словаря”.

Крупнейшими достижениями в области русской топонимии и антропонимии мы обязаны уральской ономастической школе, возглавляемой членом-корреспондентом РАН А.К. Матвеевым, которая выступает в качестве общероссийского организационного центра экспедиционных и лексикографических работ в этой области.

Настоящий переворот в русском историческом языкознании был вызван открытием и изучением берестяных грамот. По мере их накопления (в настоящее время их более 1000) берестяные грамоты стали осмысляться как особый источник по истории русского языка, раскрывающий то, что остаётся скрытым в других памятниках древней письменности: они в неизмеримо большей степени отражают разговорный язык средневековья, чем произведения религиозной литературы или деловые документы. Исследование берестяных грамот привело к пересмотру ряда положений традиционной истории русского языка, по-другому стала выглядеть картина древнейшего диалектного членения восточнославянского ареала, а отсюда изменились и представления о взаимодействии русских диалектов, приведшем к образованию диалектной основы современного русского языка. Фундаментальное значение имела монография академика А.А. Зализняка “Древненовгородский диалект” (2-е изд. 2004 г.).

Говоря о новгородских находках, нельзя не упомянуть о сенсационном открытии Новгородского кодекса при раскопках в 2000 г. Расположенный на трёх восковых дощечках и содержащий славянский текст нескольких псалмов, этот кодекс является древнейшим датированным памятником славянской письменности (создан в начале XI в., в первые десятилетия после крещения Руси). Открытие кодекса проливает свет на процессы христианизации вос-

точных славян, возникновение у них грамотности и происхождение русской редакции церковнославянского языка.

Важнейшее значение для разработки истории русского языка имеет научное издание памятников письменности и их лингвистический анализ. В последние годы в этой традиционной области русской филологии были несомненные достижения, например издание “Истории Иудейской войны” Иосифа Флавия в славянском переводе XII в., издание Типографского устава и Ильиной книги XI в. и др. В Институте русского языка РАН под руководством члена-корреспондента РАН А.М. Молдована создаётся электронная база данных по памятникам древней славяно-русской письменности, позволяющая осуществлять морфологический и синтаксический поиск и выводящая анализ историко-лингвистических процессов в памятниках русской письменности на принципиально новый уровень.

Одним из факторов, негативно влиявших на изучение истории русского языка, была недостаточность лексикографического описания, или, говоря проще, отсутствие полных и составленных на должном профессиональном уровне исторических словарей русского языка. Этот пробел за последние десятилетия постепенно восполняется. Продолжают издаваться и близятся к завершению “Словарь русского языка XI–XVII вв.” (вышло 26 томов), “Словарь древнерусского языка XI–XIV вв.” (вышло 7 томов), “Словарь русского языка XVIII в.” (вышло 16 томов). Здесь же необходимо назвать и такое важное издание, как “Словарь русских народных говоров”. Он включает лексику русских народных говоров, бытующих на всей территории функционирования русского языка. Фиксируя лексическое и фразеологическое богатство русской народной речи со всей совокупностью значений слов и фразеологических сочетаний, словарь показывает особенности их употребления в русских говорах XIX–XX вв. В нём впервые прослеживаются пути развития вторичных значений, даётся грамматическая, стилистическая, сочетаемостная, ареальная и хронологическая характеристика диалектной лексики. В 2007 г. вышел 40-й том словаря.

В Институте лингвистических исследований РАН с 2004 г. начали издавать “Большой академический словарь русского языка” (вышло 7 томов, всего запланировано 40 томов). Создатели словаря надеются, что он станет основой для перехода к концептуально новому академическому словарю, в котором предполагается разработка взвешенной концепции отбора слов, их семантического и грамматического описания, а также достоверной этимологической характеристики лексем.

Названные словари важны не только для истории слов, то есть для исторической семантики русского языка, но и для историко-грамматических исследований, поскольку они содержат упорядоченный и доступный для обобщения грамматический материал. На такой основе начала создаваться новая “Историческая грамматика русского языка” (вышло 3 тома под редакцией В.Б. Крысько).

Для понимания традиционной культуры русского общества, а отсюда и истории русского языка как феномена культуры важнейшее значение имеют этнолингвистические исследования. Они позволяют воссоздать архаические пласты традиционного мировосприятия и проследить, каким преобразованиям подверглась эта архаика при видоизменениях народного быта.

В 1960-е годы данной проблематикой начал заниматься академик Н.И. Толстой. Эти штудии весьма плодотворно продолжают по сей день под руководством С.М. Толстой. Они нашли отражение в ряде монографий, посвященных разным областям народного быта, и в итоговой форме представлены в “Словаре славянских древностей” (в настоящее время опубликовано три тома из пяти). В рамках указанного направления изучается диалектическое взаимодействие понятий народной религиозной культуры и высокой культуры элитарных групп общества.

На современном этапе перед исследователями русской литературы стоят в основном традиционные задачи, но решают они их в радикально изменившихся условиях, когда потеряли силу прежние идеологические постулаты. Целые пласты отечественной словесности стали доступны для публикаций, сняты идеологические запреты на тематику исследований, налагавшиеся на науку в советское время. В первую очередь сказанное относится, конечно же, к произведениям писателей Серебряного века и эмиграции, издание которых прежде было затруднено или невозможно. Но ограничения распространялись и на классическую русскую литературу. Ещё совсем недавно нельзя было бы представить, что в Пушкинском Доме выйдут монографии А.М. Панченко “Исследования в области народного православия. Деревенские святыни Северо-Запада России” (1998) и А.Н. Розина “Священник в духовной жизни русской деревни” (2003) или что будет издаваться библиографический указатель “Христианство и новая русская литература XVIII–XX веков” (2003).

В 1990–2000-е годы, когда появилась возможность знакомиться со многими ранее труднодоступными или вовсе недоступными зарубежными работами, отечественная академическая филология достаточно быстро приступила к отделению “зёрен от плевел” в западных гуманитарных теориях: деконструктивизме, неопсихоаналитике, неомифологизме, гендерных исследованиях и т.д. Российская академическая наука о литературе, при всём её плюрализме в методологических подходах, последовательно сторонится легковесных теоретических построений. И действительно, только затянувшейся модой на мифопоэтическое прочтение классиков можно объяснить появление у наших филологов трудов типа «Рассказ А.П. Чехова “Каштанка” как трагический миф» или, к примеру, психоаналитическую трактовку вполне безобидных сцен из некоторых сочинений начала XX в., где по разным причинам фигурируют натягиваемые на руки тесные перчатки, то как свидетельство неизжитых из памяти комплексов о “перинатальной узости”, то как уже гораздо более откровенную отсылку к сексуальной физиологии.

Трезвости в восприятии любых “актуальных” теоретических построений способствовала давняя ориентация отечественной русистики на авторитет документальных источников. Она предпочитает сочетать открытость к обоснованным научным концепциям (например, российские текстологи поддерживают многолетнее плодотворное сотрудничество с представителями так называемой “генетической критики” во Франции) с верностью консервативному кодексу “высокого знания”, житейской мудрости, здравому смыслу, без которых, по словам академика С.С. Аверинцева, “невозможно то искусство понимать сказанное и написанное, каковым является филология”.

Литературоведы РАН ведут комплексное исследование русской литературы на всём протяжении её истории, начиная с XI в., в двух основных

направлениях, которые можно было бы назвать документально-источниковедческим и проблемно-аналитическим. Первое направление (составительская, текстологическая, комментаторская, биобиблиографическая работа) призвано восполнить существенные пробелы в освоении русского литературного наследия, значительно расширить фактографическую базу исследований. Главная цель второго направления – исследование ведущих закономерностей русского литературного процесса от зарождения отечественной литературы до начала XXI в. Попытаемся охарактеризовать основные труды в данных направлениях, отдавая себе отчёт в том, что картина принципиально не может быть исчерпывающе полной и что границы между указанными направлениями во многих случаях достаточно условны.

Начнём с издания текстов произведений русского фольклора и литературы от древности до наших дней. Важным событием последних лет стало начало публикации серии “Былины” в 25 томах, входящей в обширный проект “Свод русского фольклора”. На настоящий момент в рамках серии в качестве вполне завершённого труда опубликованы “Былины Печоры” и “Былины Мезени” (5 томов). Издания отличает полнота публикуемых материалов, аутентичность, обусловленная предварительной архивной (в том числе в фондах фонозаписей) и текстологической работой.

Продолжается работа над фундаментальным 20-томным изданием “Библиотека литературы Древней Руси” (в 2006 г. издан 15-й том). Подготовленное на основе рукописных первоисточников и сопровождаемое научным комментарием, оно представляет отечественную словесность средних веков (с XI по XVII столетие) во всём многообразии тематики, жанровых форм, исторической изменчивости.

В Институте мировой литературы им. А.М. Горького (ИМЛИ) РАН и Институте русской литературы (Пушкинский Дом) (ИРЛИ) РАН активно ведётся работа над полными собраниями сочинений классиков отечественной литературы XIX–XX вв.: А.С. Пушкина, А.С. Грибоедова, Н.В. Гоголя, И.А. Гончарова, И.С. Тургенева, А.А. Фета, Л.Н. Толстого, Д.И. Писарева, А.М. Горького, А.М. Ремизова, М.А. Волошина, А.А. Блока, Л.Н. Андреева, А.Н. Толстого, Н.С. Гумилёва, В.В. Хлебникова, В.В. Маяковского, С.А. Есенина, А.П. Платонова и других. Некоторые из перечисленных трудов уже завершены, над другими работа ещё продолжается. По поводу академических собраний сочинений необходимо сделать одно замечание. В наше время иногда раздаются голоса, требующие отказаться от подобных изданий, так как они создаются десятилетиями, требуют больших финансовых затрат и коллектива высококвалифицированных специалистов. Однако именно сегодня, когда коммерческие издания, нарушающие элементарные правила текстологии и научной эдичии, в изобилии хлынули на рынок, академические собрания, являясь частью фундаментальной филологической науки, необходимы как эталон, по которому должны публиковаться тексты русской литературы на всём протяжении её истории. Сколь важна корректная текстологическая работа с текстом можно убедиться на примере подготовки и издания в серии “Литературные памятники” романа А.И. Солженицына “В круге первом”. Сотрудница ИМЛИ М.Г. Петрова при подготовке издания должна была сопоставить семь редакций романа и Вермонтскую наборную рукопись. Она составила обширный (на 51 странице) текстологический паспорт, который

содержит более 400 собственноручных помет автора романа. На основании этого паспорта и был подготовлен текст. По завершении кропотливой текстологической работы М.Г. Петровой А.И. Солженицын выразил сожаление, что “другие его произведения не подверглись такой же проработке”.

Хотелось бы заметить, что публикация в России текстов русской литературы в соответствии со строгими текстологическими нормами, по нашему убеждению, должно быть делом не только академическим, но и общегосударственным, поскольку речь идёт о ценностях национального и мирового значения. В 2000 и 2003 гг. увидели свет 1-й и 2-й тома нового Полного собрания сочинений Л.Н. Толстого в 100 томах. На обороте титула обоих томов напечатано, что они выпускаются при финансовой поддержке председателя Японского Толстовского общества Кусуо Хитоми. Можно только испытывать чувство признательности японскому учёному, однако представляется несомненным, что сочинения гения мировой литературы Л.Н. Толстого (как, впрочем, и других отечественных классиков) Россия обязана публиковать достаточными тиражами на собственные средства. Сказанное в полной мере относится и к словарям, подготовленным в РАН, о которых говорилось выше. Хотелось бы, чтобы эти слова были услышаны в нашем Министерстве образования и науки и Министерстве культуры и массовых коммуникаций.

Несколько слов о важной работе по публикации архивных документов, факсимильных изданий, формированию фондов и архивов писателей.

В 1999 г. увидели свет два уникальных факсимильных издания: “Рабочие тетради” А.С. Пушкина (в 8 томах) и “Альбом Елизаветы Николаевны Ушаковой”, открывшие доступ широкому кругу исследователей к не публиковавшимся ранее ценнейшим материалам рукописного наследия Пушкина.

Совсем недавно благодаря энергичной поддержке Правительства РФ и Президиума РАН сделаны важные приобретения, значение которых трудно переоценить, – это рукописные подготовительные материалы к кн. 1–2 “Тихого Дона” М.А. Шолохова и архив А.П. Платонова.

За счёт различных поступлений постоянно расширяются рукописные фонды ИРЛИ и ИМЛИ. Так, в Отделе рукописных и книжных фондов ИМЛИ на сегодня собрано более 630 фондов известных русских писателей (более 150 000 единиц хранения) и около 50 фондов литературных организаций. Большая часть фондов обработана, описана и доступна для исследователей. Однако из поступивших за последние 10 лет более чем 70 фондов полностью обработаны три личных фонда. Медленная работа объясняется нехваткой кадров: при возникновении отдела его штат составлял 32 сотрудника, до проведённых в последние два года сокращений здесь работало 12, а на сегодня – 7 сотрудников. В такой ситуации трудно надеяться на быстрое завершение этой важной работы. Сходные проблемы существуют и в ИРЛИ.

Следует сказать также об издании материалов из рукописных и архивных фондов. В 1996–2000 гг. опубликован труд “Неизданный Пушкин” в 3-х томах. В 2002 г. в труде “С двух берегов. Русская литература XX века в России и за рубежом” впервые увидели свет ценнейшие эпистолярные коллекции архива А.М. Горького в ИМЛИ и фонда И.А. Бунина из Русского архива в Лидсе (Великобритания). Подготовленный в ИРЛИ сборник “Писатели символистского круга. Новые материалы” (2003) освещает жизнь и творчество писателей-символистов второго и третьего ряда за период с 1890-х по

1930-е годы. Высоким требованиям текстологии и эдичии отвечают и тома “Литературного наследства”. В этом образцовом филологическом и источниковедческом издании вышло более 100 томов (около 10 000 авторских листов текста), впервые были опубликованы тысячи художественных и публицистических произведений, писем, дневников, воспоминаний, биографических документов, архивных обзоров, библиографий.

Обратимся к биобиблиографическим словарям. С выходом в свет “Словаря книжников и книжности Древней Руси” (издание в 3 выпусках, 7 частях завершено в 2004 г.) исследователи получили основные сведения о древнерусских памятниках и степени их изученности на сегодня, основную библиографию по каждому из них. Важнейшей особенностью словаря является его определённая полнота: ни в одном, даже самом обстоятельном курсе истории литературы или книжности не содержится систематизированных сведений о таком количестве имён и произведений и их исследований.

По хронологии к этому проекту непосредственно примыкает “Словарь русских писателей XVIII века”, работа над которым была начата в ИРЛИ в 1970-х годах, а последний, третий том в настоящее время сдаётся в издательство. В ходе подготовки словаря выявлено множество неизвестных ранее фактов из жизни и творчества писателей, по-новому решены вопросы атрибуции, нередко по крупницам воссозданы портреты совершенно забытых или безвестных авторов и переводчиков. Издания, подобные словарям древнерусской книжности и русских писателей XVIII в., содержат объективные, взвешенные и фактически обоснованные сведения о людях, создававших литературу, причём не только об авторах первого, но и второго и третьего ряда, представляя, таким образом, всё широкое поле литературной деятельности. Оба словаря создавались при непосредственном участии академика Д.С. Лихачёва.

К значительным достижениям в этой сфере относится и труд “Русская литература XX века. Прозаики, поэты, драматурги: биобиблиографический словарь” в 3-х томах (2005), увидевший свет под редакцией члена-корреспондента РАН Н.Н. Скатова. На сегодня словарь – наиболее полный компендиум литераторов XX в. и содержит более 1130 статей о прозаиках, поэтах, драматургах. При этом на его страницах впервые получило освещение творчество около 300 литераторов.

Видное место в рамках документального направления занимают хроники литературной жизни. Назовём некоторые из них: “Летопись литературных событий в России конца XIX – начала XX в.” (вып. I: 1890–1901/2002/; вып. 3: 1911 – октябрь 1917/2005/); в ближайшее время ожидается выход в свет части, посвященной 1905–1907 гг.); “Литературная жизнь России 1920-х годов. Москва и Петроград”: т. 1 – 1917–1920 гг. (2005); т. 2 – 1921–1922 гг. (2005).

К хроникам примыкают источниковедческие труды по истории литературной критики. В 2001–2003 гг. был подготовлен уникальный трёхтомный свод “Пушкин в прижизненной критике”; сданы в издательское производство два тома новой серии «Памятники литературной критики “Серебряного века”» – сборники републикаций с пространным академическим научным аппаратом критических статей Дмитрия Философова, Михаила Зенкевича и Владимира Нарбута.

Особое внимание литературоведы-русисты уделяют составлению летописей жизни и творчества писателей, авторских энциклопедий, библиографий. К настоящему времени увидели свет или продолжают публиковаться многотомные летописи жизни и творчества, материалы к биографиям А.С. Пушкина, А.И. Герцена, Н.А. Некрасова, И.С. Тургенева, Ф.М. Достоевского, Л.Н. Толстого, С.А. Есенина, библиографии Л.Н. Андреева, М.А. Шолохова.

Перечислить основные труды, относящиеся к проблемно-аналитическому направлению, не представляется возможным ввиду их многочисленности. Поэтому назовём лишь основные серийные издания, в которых аккумулируется труд многих литературоведов. К их числу относятся “Русский фольклор”, “Труды отдела древнерусской литературы”, “XVIII век”, “Временник Пушкинской комиссии”, “Герменевтика древнерусской литературы”. Особый тип представляют неперIODические серии с подзаголовком “Исследования и материалы”. Они создавались коллективами, работавшими или продолжающими работать над собраниями сочинений А.А. Блока, Н.С. Гумилёва, М.М. Зощенко, А.М. Ремизова, Ф.М. Достоевского, Н.А. Некрасова, И.А. Гончарова, А.М. Горького. Глубокие исследования были посвящены Вяч. Иванову, Д.С. Мережковскому, А. Белому, Л.Н. Андрееву, А.М. Горькому, В.Я. Брюсову, В.В. Хлебникову, А.А. Ахматовой, М.А. Булгакову, М.А. Шолохову и другим.

Весомым итогом академической деятельности стал выпуск двухтомной истории “Русская литература рубежа веков (1890-е – начало 1920-х годов)” (2000–2001). В этом труде исследование общих закономерностей литературного процесса в контексте духовной жизни России 1890-х – начала 1920-х годов дополняется проблемно-обзорными главами о литературных направлениях, а также портретами поэтов и прозаиков Серебряного века. Его публикация свидетельствует о принципиальной возможности научного творчества на современном этапе в жанре академической истории литературы – возможности, которая в 1990-е годы (да ещё и сегодня) часто ставилась под сомнение литературоведами. Успешный опыт обобщения накопленного в изучении Серебряного века – важная веха в преодолении кризиса доверия к большой историографии, открывающая новые перспективы в движении от освоения локальных тем к концептуальным построениям.

Продолжая данную тему, необходимо сказать, что большая работа ведётся в плане широкого исторического осмысления литературного процесса в России и после 1917 г. Выше уже говорилось о том, что ещё совсем недавно такой анализ затруднялся идеологическими запретами, ограничивавшими прежде всего возможности создания надёжной и достаточно полной источниковедческой базы, без которой, собственно, и невозможно фундаментальное изучение современной русской литературы. Ныне это препятствие устранено и многое на документально-источниковедческом направлении уже сделано, хотя многое предстоит сделать.

Однако ещё больше предстоит сделать при изучении литературного процесса XX в. на проблемно-аналитическом направлении. Число нерешённых вопросов здесь велико, и самый перечень важнейших из них занял бы немалое место. Скажем лишь, что, например, за последние годы российские учёные значительно продвинулись вперёд в разработке основ деидеологи-

зированной подхода к одному из сложнейших вопросов – анализу процесса развития русской литературы XX в. в двух её главных течениях – советском и эмигрантском.

Значительное достижение русского литературоведения – создание Фундаментальной электронной библиотеки (ФЭБ) “Русская литература и фольклор” – полнотекстовой информационно-поисковой системы, обеспечивающей сбор, хранение и распространение произведений русской словесности, результатов научных исследований в области русской литературы и фольклора, а также библиографической и словарно-энциклопедической информации. Библиотека создавалась и ведётся ИМЛИ и Научно-техническим центром “Информрегистр” Мининформсвязи России при активном участии ИРЛИ и других организаций. С 2006 г. ФЭБ эксплуатируется на технических средствах Межведомственного суперкомпьютерного центра. Основу формирования библиотеки составляет оригинальный программно-технологический комплекс, обеспечивающий массовую и качественную подготовку информации. Ежегодно с его помощью обрабатывается 40–50 тыс. страниц текстовой информации, несколько тысяч изображений и другие материалы. Использование электронной библиотеки, то есть совокупности коллекции текстов и возможностей информационных систем, позволяет в десятки раз сократить объём стандартных, рутинных операций (поиск необходимых изданий и релевантных текстовых фрагментов, составление и проверка библиографических описаний и т.п.) и высвободить значительную часть времени учёных для творческой работы. В 2007 г. её услугами воспользовалось около 2 млн человек.

Но достоинства ФЭБ этим не ограничиваются. Как показывает практика, библиотека располагает и действенными средствами для быстрой и качественной разработки словарей языка писателей (так, в ФЭБ создан электронный словарь языка Грибоедова), являющихся незаменимыми инструментами при анализе стилистических характеристик как отдельных авторов, так и целых литературных школ. На сегодня ФЭБ содержит полные тексты около 100 тыс. произведений, свыше 120 тыс. библиографических описаний, свыше 250 тыс. словарно-энциклопедических статей, около 1000 нотных текстов и фонограмм, тысячи факсимиле и иллюстраций. В связи с приближающимися памяtnыми датами в истории русской литературы (юбилеи Гоголя, Гончарова, Чехова и Льва Толстого) в ФЭБ ведётся работа по электронной репрезентации их творчества. В этом ряду почётное место занимает 300-летие со дня рождения М.В. Ломоносова. В ФЭБ уже два года проводится подготовка подраздела, посвященного жизни и творчеству великого русского учёного.

В рамках доклада обзор многоаспектной деятельности учёных РАН в области русской филологии не мог быть исчерпывающе полным. С сожалением приходится констатировать, что многие их свершения остались в тени, имена некоторых из них не были названы. Сделаем это сейчас. В последние десятилетия большой вклад в русскую филологию внесли академики С.С. Аверинцев, Г.Г. Гамзатов, М.Л. Гаспаров, В.В. Иванов, А.М. Панченко, В.Н. Топоров, Е.П. Челышев, члены-корреспонденты РАН В.Е. Багно, Ю.Л. Воротников, Л.Д. Громова, Ю.Н. Караулов, Н.В. Корниенко, Ф.Ф. Кузнецов, А.В. Лавров, П.А. Николаев, Т.М. Николаева, В.В. Новиков, Е.К. Ромодановская. С учётом их трудов картина достижений академической русской филологии на современном этапе была бы ещё более впечатляющей.

Год русского языка несомненно будет способствовать развитию науки о русском языке и русской литературе. Но, конечно же, его воздействие не ограничится научной сферой, хотя бы в силу того, что интересы последней определяются в первую очередь интересами общества, его духовными запросами. Интерес же к русскому языку, этому, быть может, главному культурному достоянию русского народа, запечатлевшему особый, только ему присущий “способ мирозидения”, является непреходящим в российском обществе на протяжении длительного времени. Именно поэтому так актуально звучат сегодня мысли Н.В. Гоголя о русском языке, высказанные им более 160 лет назад: “...Сам необыкновенный язык наш есть ещё тайна. В нём все тоны и оттенки, все переходы звуков от самых твёрдых до самых нежных и мягких; он беспределен и может, живой, как жизнь, обогащаться ежеминутно, почерпая, с одной стороны, высокие слова из языка церковно-библейского, а с другой стороны – выбирая на выбор меткие названия из бесчисленных своих наречий, рассыпанных по нашим провинциям, имея возможность, таким образом, в одной и той же речи восходить до высоты, не доступной никакому другому языку, и опускаться до простоты, осязаемой непонятливейшего человека...”. И далее Н.В. Гоголь выражает надежду, что из этого “живого, как жизнь, языка ... выкуется... сильнейшая речь”, от которой “загорится” российская поэзия. А она «ударивши по всем струнам, какие ни есть в русском человеке, внесёт в самые огрубелые души святую того, чего никакие силы и орудия не могут утвердить в человеке; вызовет нам нашу Россию – нашу русскую Россию: не ту, которую показывают нам грубо какие-нибудь квасные патриоты, и не ту, которую вызывают к нам из-за моря очужеземившиеся русские, но ту, которую извлечёт она из нас же и покажет таким образом, что все до единого, каких бы ни были они различных мыслей, образов воспитания и мнений, скажут в один голос: “Это наша Россия; нам в ней приятно и тепло, и мы теперь действительно у себя дома, под своей родной крышей, а не на чужбине”».

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АКТИВНОГО СЛОВАРЯ РУССКОГО ЯЗЫКА

Ю.Д. Апресян

Отличительная черта всей современной лексикографии – синтез филологии и культуры. Значительная часть культуры любого народа реализуется через его язык, а язык во всём его богатстве закрепляется прежде всего в словаре. Осознание особой роли словаря как проводника культуры и одновременно ключа к ней привело к невиданному всплеску лексикографической активности ещё в послевоенной Европе и Америке. Лексикографическая продукция вошла в быт миллионов людей. В Англии, например, в 90% семей есть по крайней мере один толковый словарь. Словари стали популярнее поваренных книг (всего 70% семей) и даже Библии (80% семей). При этом упор был сделан на создание активных словарей, предназначенных для того, чтобы научить человека не только понимать тексты на данном языке, но и правильно говорить на нём.

Основная формула пассивного словаря – много слов, минимальная информация о значении каждого слова, достаточная для его понимания в произвольном контексте. Например, о слове *мнение* в таком словаре достаточно сообщить, что оно обозначает “оценочное суждение о чём-л., основанное на опыте, вкусах или умозаключениях субъекта”.

Основная формула активного словаря (далее АС) – существенно меньше слов, но по возможности полная информация о каждом слове, необходимая для его правильного употребления в собственной речи говорящих. Эта информация включает:

- значение (толкование) и некоторые семантические правила;
- произношение слова;
- фразовую просодию, если она специфична для слова или его значения;
- основные грамматические формы слова;
- синтаксические свойства слова;
- правила сочетаемости с другими словами в тексте;
- семантические связи слова в словаре (синонимы, антонимы и т.п.).

Пример – сочетаемость слова *мнение* с прилагательными (сочетаемость особенно важна, потому что она не вполне свободна и представляет наибольшие трудности при усвоении языка): *твёрдое* (сложившееся) *мнение*, *высокое* (лестное, положительное) *мнение*, *невысокое* (низкое, нелестное, отрицательное) *мнение*, *субъективное* (предвзятое) *мнение*, *объективное* (непредвзятое) *мнение*, *общественное* (личное) *мнение*, *общее* (единое) *мнение*.

Современная европейская, особенно английская, лексикография располагает большим семейством АС; последние по времени словари содержат от 40–50 до 100 тыс. слов. В нашей лексикографии такие словари представлены только экспериментальными изданиями объёмом от нескольких сотен до 2.5 тыс. слов. Пришло время заполнить эту лакуну. АС позволят не только повысить уровень языковой культуры в нашей стране, но и продвинуть знание русского языка в мире.

В 2006 г. в Институте русского языка (ИРЯ) РАН началась работа над АС русского языка. Он мыслится как часть более крупного проекта, конечной целью которого является создание целой серии таких словарей. Первый словарь серии уже вышел – это Новый объяснительный словарь синонимов русского языка (М., 2004), удостоенный золотой медали им. В.И. Даля РАН. Приступая к нынешнему проекту, мы планируем не просто воспроизвести на русском материале тип АС, сложившийся в европейской традиции, а радикально его модернизировать с опорой на современные лингвистические технологии, принципы и теории. Одно из следствий такого подхода состоит в том, что лексикографическая информация о слове, которую предусматривается включить в АС русского языка, по объёму и детальности проработки будет намного превосходить сведения, даваемые как в обычных толковых словарях русского языка, так и в существующих АС европейских языков*.

* Уместно подчеркнуть, что языковой материал, фигурирующий в данном докладе, в основной своей массе является лексикографическим новшеством: хотя он составляет неотъемлемую и очень важную часть языковой компетенции говорящих, он никогда раньше не включался в какие-либо словари русского языка.

При составлении АС будут широко использоваться два больших корпуса – Национальный корпус русского языка и глубоко эшелонированный корпус текстов всех жанров литературы XIX–XXI вв. объемом в 34 000 000 слововхождений, созданный в Секторе теоретической семантики ИРЯ РАН; в него целиком включён и хорошо известный в мире Упсальский корпус. Будут приниматься во внимание также тексты, обращающиеся в Интернете (например, в справочной системе GOOGLE).

Два главных лингвистических принципа, на которые опирается русский АС, – интегральность и системность.

Интегральным называется такое описание языка, в котором словарь и грамматика полностью согласованы друг с другом по типам лингвистической информации и формальным способам её представления.

Одно из самых нетривиальных следствий принципа интегральности состоит в том, что в словарь в том или ином виде должны включаться некоторые грамматические правила. К их числу относятся правила с очень большой, но лексически ограниченной областью действия. Такие правила не могут быть описаны с исчерпывающей полнотой в грамматике и, значит, должны переноситься в словарь. Обнаружение этого факта – заслуга компьютерной лингвистики: раньше никакие грамматические правила в словари не включались. Рассмотрим один пример.

Известно, что многие русские глаголы меняют именительный падеж подлежащего на родительный в контексте отрицания. Таковы: а) глаголы существования и наличия типа *бывать, быть, водиться, иметься, происходить, проходить, случаться, существовать* и т.п.; б) глаголы начала, продолжения или необходимости существования: *возникать, наставать, наступать, отставаться, полагаться, поступать, появляться, сохраняться, требоваться* и т.п.; в) глаголы восприятия или наблюдения существования: *выделяться, наблюдаться, найтись, ощущаться, чувствоваться* и т.п. Примеры:

(2а) *В здешних лесах водились лоси* [именительный падеж],

(2б) *В здешних лесах лоси* [именительный падеж] *не водились*,

(2в) *В здешних лесах лосей* [родительный падеж] *не водилось*.

Таких глаголов в русском языке несколько сотен, и дать их исчерпывающий список в грамматике невозможно, тем более что многие из них приобретают обсуждаемое свойство только в периферийных значениях. Глагол *поступить*, например, в первых двух значениях (*поступить правильно, поступить в университет*) сохраняет именительный падеж подлежащего в отрицательных предложениях и лишь в третьем значении приобретает способность менять его на родительный.

(3а) *Вы поступили правильно*,

(3б) **Вас не поступило правильно*;

(4а) *Он поступил в университет*,

(4б) **Его не поступило в университет*;

(5а) *На этот счёт недавно поступила новая информация*,

(5б) *Новой информации на этот счёт (пока) не поступило*.

Попытка задать все такие глаголы не списком, а простым семантическим правилом тоже не удаётся, поскольку очень близкие синонимы ведут себя относительно обсуждаемой конструкции по-разному. Так, из двух синонимичных глаголов *настать* и *наступить* со значением “начаться” первый со-

храняет именительный падеж подлежащего под отрицанием, а второй может менять его на родительный.

- (6а) *Настала ночь,*
- (6б) *Ночь (ещё) не настала,*
- (6в) **Ночи ещё не настало;*
- (7а) *Наступило облегчение,*
- (7б) *Облегчение не наступило,*
- (7в) *Облегчения не наступило.*

Учёт этих и других подобных фактов не оставляет нам никакой другой возможности их описания, кроме чисто лексикографической: их место – в словаре.

Системным называется такое лингвистическое описание, в котором все одинаковые свойства слов описываются единообразно. Например, прилагательные “общего размера” *большой, маленький*, а также параметрические прилагательные со значением линейного размера типа *длинный, короткий, высокий, низкий, широкий, узкий* и т.п. в краткой форме в ряде контекстов претерпевают системный семантический сдвиг: они прибавляют к своему словарному толкованию смысл “слишком”. *Ботинки малы <велики>* значит “Ботинки слишком маленькие <большие> (для кого-то)”. Сравните также:

- (8а) *Юбка длинна (будет по земле волочиться),*
- (8б) *Верёвка коротка (сюда не дотянется),*
- (8в) *Пиджак широк <узок> (в плечах),*
- (8г) *Протока узка (на катере не пройдёшь),*
- (8д) *Лестница низка (до крыши не достанет).*

В других контекстах краткие формы таких прилагательных сохраняют свой обычный смысл. Сравните фразу из советской песни *Широка страна моя родная*.

Только в словаре можно исчерпывающим образом описать как этот системный семантический сдвиг, так и возможные исключения из него.

Переходные глаголы типа *гладить, греть, клеить, косить, пилить, писать, резать* и т.п. в сочетании с именами инструментов и средств в роли подлежащего имеют особое значение, которое обычно реализуется в так называемой абсолютной конструкции (с опущенным прямым дополнением):

- (9а) *Печка греет,*
- (9б) *Клей клеит* и т.п.

В ней глагол может обозначать нормальное актуально наблюдаемое функционирование данного артефакта в соответствии с его назначением. Если предложение типа (9) поставить под отрицание, произойдёт хорошо ощущаемый говорящими системный семантический сдвиг. В предложениях

- (10а) *Утюг не гладит,*
- (10б) *Печка не греет,*
- (10в) *Ручка не пишет,*
- (10г) *Нож не режет* и т.п.

факт функционирования не отрицается, а сообщается только, что соответствующий артефакт плохо справляется с работой, для которой он предназначен. Иными словами, отрицание становится квазисинонимичным смыслу “плохо”: *Утюг не гладит ≈ плохо гладит, Печка не греет ≈ плохо греет* и т.п.

Очевидно, что все эти и другие подобные эффекты можно с достаточной полнотой описать только в словаре.

Для АС особенно важны следующие четыре области лингвистической теории:

семантика – теория толкований и правила взаимодействия значений;

синтаксис – современная теория управления;

сочетаемость – обновленная теория лексических функций;

просодия – факты лексикализации фразовых акцентов и их связь с коммуникативной организацией высказывания.

В дальнейшем будут проведены два лейтмотива: теоретический лейтмотив для лексикографа – идея системного описания лексики, или идея ожиданий, который можно формировать на основании принадлежности лексем к тем или иным семантическим классам и подклассам; практический лейтмотив для пользователя – представление об огромном объеме информации о словах, которой он владеет или должен овладеть, если хочет правильно говорить по-русски.

Толкования слов в АС должны иметь объяснительную силу, например объяснять допустимость одних словосочетаний и недопустимость других. Такие толкования моделируют, по крайней мере частично, один из важнейших признаков хорошего владения языком – умение образцовых носителей отличать правильное от неправильного в языке. Рассмотрим в связи с этим основные значения глаголов *войти (в комнату)* и *выйти (из комнаты)*. Их толкования, даваемые в большинстве словарей, не объясняют, почему по-русски можно сказать (11), но не (12):

(11) *войти в дом со двора, выйти из дома во двор,*

(12) **войти во двор из дома, *выйти со двора в дом.*

Дело в том, что в русском языке основные глаголы перемещения с приставками *в-* и *вы-* накладывают определённые ограничения на пространства, где кто-то находился до начала перемещения и после него. Глаголы с приставкой *в-* обозначают перемещение в более замкнутое пространство из более открытого; таков, например, дом по сравнению со двором. Напротив, глаголы с приставкой *вы-* обозначают перемещение в более открытое пространство из более замкнутого; таков двор по сравнению с домом. Это уточнение объясняет, почему фразы *войти в дом со двора* и *выйти из дома во двор* воспринимаются как правильные, а фразы **войти во двор из дома* или **выйти в дом со двора* – как неправильные.

Ещё один признак хорошей языковой компетенции говорящих состоит в том, что они видят омонимию внешне совпадающих высказываний и синонимию внешне различных высказываний. Этот феномен теоретически объясняется семантическими правилами, или правилами взаимодействия значений – новой областью лингвистической теории, которая тоже должна быть адаптирована для нужд АС. Отчасти мы уже имели с ними дело.

Рассмотрим ещё один пример – взаимодействие с отрицанием класса модальных слов *должен, надо, нужно, обязан* и *следует*. Посмотрим на фразу (13):

(13) *Вы не должны писать этот отчёт.*

Она неоднозначна и обозначает либо разрешение не писать этот отчёт, либо запрет писать его.

(13a) *Вы не должны писать этот отчёт* \approx ...можете не писать...,

(13б) *Вы не должны писать этот отчёт* \approx ...Вам нельзя писать...

Объяснение: синтаксически отрицание связано со словом *должен*. Однако его семантической областью действия может быть либо *должен* (тривиальная область действия), либо зависящий от него глагол, в нашем случае – *писать* (нетривиальная область действия, так называемое смещение отрицания: *должны не писать*). В первом случае получается значение разрешения (13a), во втором – значение запрета (13б).

Похожим образом взаимодействуют с отрицанием слова *надо* и *нужно*, а семантически очень близкие к ним слова *обязан* и *следует* омонимии не порождают. Для *обязан* возможна только тривиальная область действия, а для *следует* – только нетривиальная:

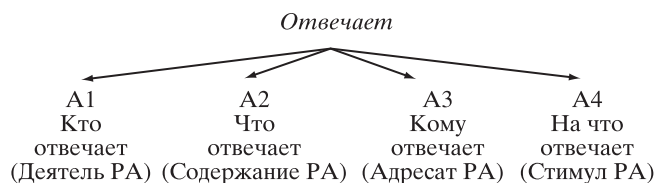
(14a) *Вы не обязаны писать этот отчёт* всегда обозначает разрешение,

(14б) *Вам не следует писать этот отчёт* всегда обозначает запрет.

Теория синтаксического управления на нынешнем этапе её развития исходит из того, что основой для установления управляющих свойств любого предикатного слова должна быть его семантика. Покажем на примере глагола *отвечать*, к каким новым следствиям приводит эта установка.

Глагол *отвечать* обозначает речевой акт (РА) и, как всякий речевой акт, имеет по крайней мере три актанта: деятеля (кто отвечает), содержания речевого акта (что именно отвечает) и адресата (кому отвечает). Поскольку, однако, *отвечать* является реакцией на другой речевой акт, а именно вопрос, у него появляется четвёртый актант – стимул (на что отвечает; ср. *Вы не ответили на мой вопрос*).

(15)



Прокомментируем более подробно способы выражения актанта А2 – содержания ответа. При глаголе *отвечать* он выражается, во-первых, четырьмя типичными для всех речевых актов способами, а именно А2.1–А2.4:

А2.1: *Он ответил, что ничего не помнит* (предложение с союзом *что*);

А2.2: *Вы не ответили, где вы были* \langle почему не пришли \rangle (косвенный вопрос);

А2.3: – *Приду, – ответил он* (прямая речь);

А2.4: *Что он ответил! Он ничего не ответил* (слова типа *что*, *что-то*, *ничего*).

Три других способа выражения этого актанта (А2.5–А2.7) более специфичны или даже экзотичны. Это: а) существительное *слово*, обычно в отрицательном или вопросительном контексте; б) наречия *положительно* и *отрицательно*; в) существительные *согласие* и *отказ* в форме творительного падежа:

А2.5: *Он не ответил ни слова*,

А2.6: *Он ответил положительно* \langle отрицательно \rangle (т.е. *да* или *нет*),

А2.7: *Он ответил согласием* \langle отказом \rangle (тоже, в сущности, *да* или *нет*).

Как видим, ожидания, которые формируются у лексикографа при описании очередного акта речи на основе знания родовых, “идеальных” свойств глаголов этого семантического класса, являются мощнейшим инструментом системного описания лексики. При этом, конечно, учитываются и “личные” свойства слова.

Для активного словаря первостепенный интерес представляет не вполне свободная сочетаемость слов. Её изучение было поставлено на твёрдую основу в теории лексических функций (ЛФ) И.А. Мельчука. Главный тезис этой теории состоит в том, что в языках мира можно выделить несколько десятков значений высокого уровня абстракции, каждое из которых выражается большим классом слов. При этом выбор конкретного слова L для выражения данного значения целиком зависит от того слова X, с которым оно сочетается. Он, следовательно, семантически не мотивирован, лексически связан, идиоматичен. Яркий пример – ЛФ MAGN = “большая степень того, что названо ключевым словом”. Мы говорим (16а), но не (16б); (17а), но не (17б):

- (16а) *крошечная тьма, мёртвая тишина,*
- (16б) **мёртвая тьма, *крошечная тишина;*
- (17а) *крепко спать, твёрдо знать,*
- (17б) **крепко знать, *твёрдо спать.*

На самом деле в первых работах по ЛФ степень их идиоматичности была переоценена. Главным результатом позднейших работ явился вывод, что выбор конкретного слова L на роль значения данной ЛФ от данного ключевого слова X мотивирован, хотя и не полностью, каким-то общим смысловым компонентом в лексических значениях L и X. Наличие такого компонента объясняется общими законами семантического согласования, которое, как и всякое другое согласование в естественном языке, состоит в повторении какого-то простого элемента (в рассматриваемом случае – семантического) в составе сочетающихся слов. Это и позволяет в какой-то мере предсказывать как набор ЛФ для целых классов слов-аргументов, так и конкретные способы их выражения.

Посмотрим на глагольную сочетаемость слова *контроль*. Вот значения его основных глагольных ЛФ:

- (18) *быть <находиться> под контролем, подвергаться контролю, держать кого-л. под контролем, подвергать что-л. контролю, попадать под контроль, выходить из-под контроля, ставить что-л. под контроль, выводить что-л. из-под контроля.*

В значение слова *контроль* входит указание на иерархию отношений между двумя людьми или группами людей и на то, что субъект, занимающий более высокое положение в этой иерархии, может диктовать свою волю другому. В этом отношении слову *контроль* близки слова а) *власть, влияние* и б) *надзор, наблюдение*. Тогда, если верна гипотеза о семантическом согласовании ЛФ-глагола X с его аргументом L, естественно ожидать, что по крайней мере некоторые (конечно, далеко не все) из этих лексически связанных глаголов будут сочетаться, помимо слова *контроль*, и с другими упомянутыми существительными. Данная гипотеза вполне оправдывается. Предоставляем читателю самому убедиться в этом.

Итак, зная семантические классы ключевых слов и универсальный набор ЛФ, мы можем формировать правильные лексикографические ожидания даже по поводу не вполне свободной сочетаемости слов. Этим можно воспользоваться для направленного сбора материала и системного представления сочетаемости в АС.

Факты такого рода попали в поле зрения лингвистов в конце 80-х годов прошлого века и с тех пор изучались весьма интенсивно. В этом материале тоже были обнаружены некоторые закономерности. Я проиллюстрирую их на примере глаголов зрительного и слухового восприятия *выглядеть* и *послышаться*.

Глагол *выглядеть* в большинстве употреблений обозначает впечатление, то есть такой образ мира, в истинности которого субъект восприятия не уверен. Сравните:

(18а) *Он выглядел уставшим.*

Та же лексема может в определённых условиях обозначать либо факт, либо элемент мнимого мира.

Сдвиг в сторону объективности обычно происходит в фразово безударной позиции, особенно в контексте “объективных” указательных наречий *иначе, так, следующим образом* и т.п.:

(18б) *В газете “Труд” сообщение об этом событии выглядело иначе* [реально было иным].

Сдвиг в сторону мнимости возникает у *выглядеть* под логическим фразовым ударением:

(18в) *Она только [↓]выглядит здоровой, на самом деле она очень больной человек.*

Аналогичные сдвиги представлены на материале глагола *послышаться*, с той разницей, что различия между обозначениями факта, впечатления и мнимого мира выражены здесь гораздо более чётко:

(19а) *Послышалось цоканье копыт* (факт),

(19б) *Ей послышалось, как будто в мастерской что-то тихо пробежало* (впечатление),

(19в) – *Мне ^{↓↓}послышалось, – сказал кот* (М. Булгаков) (мнимый мир).

Подчеркну ещё раз, что указание на мнимость в обоих случаях возникает под сильным фразовым ударением.

Иными словами, зная семантические классы слов и общие закономерности фразовой просодии, мы можем формировать правильные лексикографические ожидания по поводу акцентных выделений слов в высказывании.

Итак, задуман активный словарь русского языка, основанный на современных лингвистических технологиях и принципах, учитывающий последние результаты лингвистической теории и вместе с тем обращенный к широкому кругу носителей языка, не имеющих специального лингвистического образования. Такой словарь должен, по замыслу, выполнять сразу две функции: быть компонентом полного научного описания русского языка и служить лексикографическим справочником активного типа. В первой ипостаси он может стать объектом разнообразных теоретических исследований, во второй – будет способствовать полноценному практическому овладению русским языком.

ПРОБЛЕМА ПОДЛИННОСТИ “СЛОВА О ПОЛКУ ИГОРЕВЕ”

Академик А.А. Зализняк

Один из традиционных для последних двух веков дискуссионных вопросов из области истории русской литературы и культуры – время создания “Слова о полку Игоре” – возникло в древности, то есть это подлинное древнерусское произведение, и оно создано в конце XVIII в., незадолго до его первой публикации в 1800 г., то есть это подделка под древность. Разрешение дилеммы крайне затруднено тем, что рукописный сборник, содержащий “Слово о полку Игоре”, как полагают, погиб при нашествии Наполеона в великом московском пожаре 1812 г. Таким образом, анализ почерка, бумаги, чернил в данном случае невозможен.

Дискуссия между сторонниками и противниками подлинности “Слова” возникла уже вскоре после публикации памятника и не угасает до сих пор. К сожалению, в этой дискуссии немалую роль играли и играют не собственно научные аргументы, а страсти и пристрастия.

В Советском Союзе версии подлинности “Слова о полку Игоре” был фактически присвоен статус идеологической догмы, а версии поддельности – статус идеологической диверсии. Книга яркого и смелого историка Александра Александровича Зимина, отстаивавшего версию поддельности, была напечатана в 1963 г. на ротапринте тиражом в сто экземпляров, которые выдавались участникам разгромного обсуждения этой книги с обязанностью после обсуждения сдать экземпляры в спецхран. Разгромное обсуждение книги Зимина немало способствовало тому, чтобы поддержать в кругах российской интеллигенции представление, что речь идёт именно о подделке.

О литературоведческих и историко-культурных аргументах в этой дискуссии говорить не буду. Они имеются в большом количестве у обеих сторон, но, к сожалению, носят в целом недостаточно строгий характер, а нередко и просто субъективны, что позволяет каждой из сторон спокойно оставаться при своём мнении. Надежда на более объективное решение вопроса связана с возможностями лингвистики, поскольку здесь достижима степень строгости, на порядок более высокая, чем в других гуманитарных дисциплинах.

Русские письменные памятники XI–XVI вв. можно подразделить так:

- произведения древнейших веков (XI–XIV), дошедшие до нас в записях той же эпохи; в них представлена древняя грамматика, древняя фонетика и орфография;
- произведения тех же древнейших веков, но дошедшие в списках XV–XVI вв.; здесь сохраняется древняя грамматика (иногда с некоторыми ошибками), но писец уже произносит слова не по-древнему, а в соответствии с фонетикой своего времени и записывает по более поздней орфографии;
- произведения XV–XVI вв.; в них представлена более поздняя не только фонетика и орфография, но и грамматика.

Анализ языка “Слова о полку Игоре” показывает следующее: все основные характеристики (фонетические, орфографические, морфологи-

ческие, синтаксические) в этом произведении такие же, как в памятниках второй из перечисленных выше групп, то есть в древних произведениях, переписанных в более позднее время; имеются чёткие отличия как от первой, так и от третьей группы. Никаких языковых элементов, которые принадлежали бы языку XVIII столетия и не могли бы в то же время принадлежать языку переписчиков XV–XVI вв., в тексте “Слова” нет. Выясняется, кроме того, что в “Слове” есть такие отклонения от фонетических, орфографических и морфологических норм, которые в рукописях XV–XVI вв. встречаются только у писцов великорусского Северо-Запада и северной Белоруссии и возникают в силу особенностей соответствующих диалектов.

Случайным совпадением объяснить всю описанную выше картину невозможно – совпадает слишком много характеристик, причём сами эти характеристики сложно организованы. Значит ли это, что “Слово о полку Игореве” и есть древнее сочинение, дошедшее в списке XV–XVI вв., сделанном северо-западным писцом? Нет, не значит. Это только одна из возможностей. Другая состоит в том, что все языковые характеристики искусственно воспроизвёл умелый фальсификатор (или имитатор) XVIII в. Тем самым проблема сводится к тому, чтобы сделать обоснованный выбор между этими двумя возможностями.

В версии подлинности “Слова” никаких дополнительных объяснений не требуется. В версии поддельности необходимо выяснить, каким образом фальсификатор мог достичь такого результата. Разумеется, он непременно должен был быть знаком с какими-то из подлинных древних рукописей.

Для воспроизведения древнего языка у фальсификатора было в принципе два пути: интуитивная имитация языка каких-то прочитанных им рукописей или познание всех необходимых языковых характеристик и умение их применить к сочинению текста. Рассмотрим вариант с интуитивной (не анализирующей) имитацией.

Имитация некоего типа текста – операция гораздо более трудная, чем может казаться неискущённому наблюдателю. Сравнительно легко имитировать единичные факты. Например, изображая деревенскую речь, имитатор может вставлять время от времени отдельные характерные словечки вроде *давеча* или *намедни*. Неизмеримо труднее имитировать некоторое системное явление, например уловить и правильно воспроизвести закономерности в отличиях гласных данного говора от литературного произношения.

Вот яркий пример из творчества писателя, который по всемирному признанию обладал безмерной силой интуиции, – Фёдора Михайловича Достоевского. В романе “Братья Карамазовы” выведен среди прочих персонажей суровый монах-постник отец Ферапонт. Про него автор говорит, что он сильно окал (“говорил с сильным ударением на *о*”, как выражается Достоевский). А немного далее мы читаем: “А грузди? – спросил вдруг отец Ферапонт, произнося букву *з* придыхательно, почти как хер”. (Ясно, что таким образом здесь описан звук [g].)

Достоевский, несомненно, хотел показать читателю, что отец Ферапонт происходит из крестьян и необразован. Однако же в изображении речи Ферапонта он допустил прямую лингвистическую ошибку: оканье – черта северновеликорусская, а произнесение буквы *з* как [g] – черта южновелико-

русская. Тем самым вместе они не соединяются – именно так говорящего Ферапонта в действительности быть не могло.

Конечно, для художественного произведения такая деталь – это всего лишь небольшая неточность, обычному читателю незаметная. Но если бы кто-то вздумал сочинить речь от лица крестьянина и выдать её за подлинную, а при этом допустил бы ту же ошибку, что у Достоевского, то лингвист немедленно понял бы, что перед ним подделка.

А у предполагаемого имитатора – автора “Слова” – ситуация была именно такого типа, только во много раз сложнее, поскольку он должен был охватить своей интуицией не один-два подобных пункта, а более сотни, относящихся к фонетике, орфографии, морфологии, синтаксису, выбору слов. Достоевский ошибся уже на втором ходу, а наш имитатор должен был не ошибиться ни на одном из сотни ходов!

Имитатор должен был создать сочинение, которое соответствовало бы всем общим древнерусским нормам и, сверх того, обладало бы ещё индивидуальными языковыми особенностями некоторой взятой им за образец северо-западной рукописи XV–XVI вв. (списка с древнего подлинника). Это примерно то же, как если бы сейчас русскому человеку, не владеющему украинским языком и не имеющему отношения к лингвистике, дали в подлиннике собрание сочинений, допустим, Михаила Коцюбинского, а если пожелает, то и другие книги по-украински, и предложили сочинить на некую заданную тему украинский текст страниц на десять, причём с индивидуальными особенностями языка Коцюбинского. Каковы шансы на то, что его сочинение успешно прошло бы контроль со стороны лингвистов, то есть последние не отличили бы его язык от подлинного украинского и вдобавок признали бы его похожим на язык Коцюбинского?

Весь накопленный ныне опыт наблюдений над тем, как люди осваивают иностранные языки, говорит за то, что шансы на успех здесь имел бы только гениальный имитатор. Но даже и этой аналогии в данном случае недостаточно.

Как показывают исследования, рукописи, которая совпадала бы **по всем** своим языковым характеристикам со “Словом о полку Игореве”, не существует. Любая реальная рукопись XV–XVI вв. в какой-то части характеристик с ним расходится. Это значит, что предполагаемый интуитивный имитатор не мог ориентироваться во всём на один образец. Он должен был в одних фонетических и грамматических пунктах “настраивать себя” на один образец, в других – на другой, в третьих – на третий. Никаких примеров интуитивной имитации такой неимоверной степени сложности история не знает. Гений имитации, возможно, сумел бы сделать и это (поскольку за гением при желании можно предполагать практически безграничные способности), но человек, не являющийся гением, безусловно, не мог.

Остаётся возможность **научного овладения** всеми теми закономерностями строения текста, которые реально соблюдены в “Слове о полку Игореве”. В этом случае фальсификатор должен был быть первоклассным лингвистом, который поставил себе сознательную цель создать у своих будущих критиков впечатление, что перед ними древнее сочинение, переписанное на Северо-Западе в XV–XVI вв. Для этого он должен был воспроизвести в своём тексте, во-первых, древнейшие грамматические черты; во-вторых, особен-

ности их передачи и частичного искажения писцами XV–XVI вв.; в-третьих, северо-западные диалектные черты. И следует отметить, что он заботился исключительно о мнении далёких потомков, ибо, несомненно, понимал, что в современном ему обществе никто не имел никакого понятия о всех этих материях и никак не мог оценить его виртуозности.

Напомню, что дело происходит не позднее конца XVIII в. Исторической лингвистики, то есть науки об изменении языков во времени, ещё не существует, до её первых шагов ещё остаются десятилетия. Никаких каталогов рукописей ещё нет. Даже установить, относится ли конкретная рукопись к древнейшим векам или к XV либо к XVII вв., можно только в результате специального научного исследования, поскольку подавляющее большинство русских рукописей не датировано, то есть не имеет даты в тексте. Палеография, позволяющая датировать рукописи по форме букв, ещё находится в совершенно зачаточном состоянии. Никаких описаний грамматики, фонетики и орфографии древних рукописей ещё нет.

Все эти знания были накоплены исторической лингвистикой лишь на протяжении последующих двух веков, трудами сотен филологов, включая десятки высокоталантливых. На этом пути был сделан ряд выдающихся открытий, без которых наши нынешние знания об истории русского языка были бы невозможны. Ограничусь двумя примерами. В 1890-е годы Александр Иванович Соболевский открыл, что в XV–XVI вв. в русских рукописях использовалась особая орфография южнославянского происхождения, которой не было ни в более ранних, ни в более поздних русских рукописях. В те же годы Якоб Вакернагель открыл закон, которому в древних индоевропейских языках подчинялось расположение во фразе безударных служебных слов.

И всех этих знаний, начиная с открытия фундаментального принципа изменяемости языка во времени и кончая десятками конкретных деталей из фонетики, орфографии и грамматики рукописей разных веков и разных регионов Руси, наш фальсификатор должен был достичь сам. Среди прочего он должен был сделать – на век раньше Соболевского и Вакернагеля – открытия обоих этих учёных, ведь в его сочинении представлена южнославянская орфография, а безударные слова размещены в точном соответствии с законом, который ныне носит имя Вакернагеля. Не зная всех этих больших и малых правил, он неизбежно допустил бы целый ряд ошибок; между тем в “Слове о полку Игореве” таких ошибок нет.

Лингвист, равный по потенциалу совокупности десятков и сотен своих более поздних коллег, несомненно, безмерный гений. И столь же уникально его поведение: будучи великим учёным, он не оставил потомкам ни слова обо всех своих открытиях, пожелав вместо этого для себя полной вечной безвестности.

В отличие от математики, в гуманитарной науке доказательства в абсолютном смысле невозможны. Но можно оценить – пусть не строгой мерой, а в общем виде – вероятность противоборствующих гипотез. Итог анализа языка “Слова о полку Игореве” таков: подделка не является абсолютно невозможной, но она могла иметь место лишь в том предельно маловероятном случае, если её осуществил некий беспримерный гений, причём пожелавший полностью скрыть от человечества свою гениальность.

В заключение добавлю лишь, что, как показывает, в частности, и история с разгромом по указке сверху книги Зимина, ничто так не удаляет наши научные представления от истины, как навешивание на них политических и иных конъюнктурных смыслов. Поэтому заранее протестую против использования полученного в данной работе результата в каких-то сиюминутных политических целях и хотел бы надеяться, что он сохранит свой собственно научный смысл.

РУССКАЯ КЛАССИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА И ФОРМИРОВАНИЕ ОБРАЗА РОССИИ В МИРЕ

Член-корреспондент РАН В.Е. Багно

Есть страны, представление о которых у других народов на протяжении многих веков формируется в том числе и литературой. Все мы имеем вполне определённое представление, почерпнутое из средневековой китайской, японской, персидской поэзии, сборника сказок “Тысяча и одна ночь”, “Дон Кихота” Сервантеса, произведений Данте и Петрарки, Шекспира, Гёте, Вольтера о Китае, Японии, Иране, арабском мире, Испании, Италии, Англии, Германии или Франции. Есть страны, в формировании образа которых литература не участвует или участвует в минимальной степени, в том числе в тех случаях, когда речь идёт о великих литературах. О русской литературе можно сказать, что до последних десятилетий XIX столетия, до появления первых переводов великого русского романа на западноевропейские языки, её влияние на формирование образа России в мире было минимальным.

Представляется возможным наметить основные вехи в истории формирования в Новое время представлений Запада о России. Однозначно позитивный образ России возник в эпоху петровских реформ. Имперская идея, лежавшая в основе внешней политики государства в период правления Николая I, в сочетании с русской идеей, формулируемой славянофилами, создавали образ врага, миф о “русской угрозе”, которым на протяжении нескольких десятилетий XIX в. отдали дань многие умы на Западе. Следующей вехой, когда многие зарубежные интеллектуалы, разочаровавшиеся в технократической западной цивилизации, увидели в России духовную родину, стали последние десятилетия XIX в., время первых переводов русского романа на европейские языки.

В представлениях западноевропейцев о России литература и породивший её народ были нередко взаимозаменяемы. Великое предназначение страны “прочитывалось” в гениальности её романистов или же, наоборот, те, кто видел в части целое, утверждали, что великий народ не мог не породить великой литературы. Так, свою книгу путевых очерков “В сказочной стране” Кнут Гамсун начинает следующими восторженными рассуждениями: “Славяне, – думаю я и смотрю на них, – народ будущего, завоеватель мира после германцев! Неудивительно, что у такого народа может возникнуть такая литература, как русская, литература безграничная в своём величии и поразительная!”.

Одним из первых грядущую смену вех на Западе в представлениях о России, наступление эпохи “мирного” завоевания Россией Запада, свидетельством которой было восхищение перед гением русских романистов, предсказал Достоевский. При этом знаменательно, что ближайшим поводом для этого обобщения, казалось ещё преждевременного, датируемого серединой 1870-х годов, послужил роман Л.Н. Толстого “Анна Каренина”, который именно в это время публиковался на страницах журнала “Русский вестник”. Ф.М. Достоевский, вспоминая высочайшую оценку, которую дал толстовскому роману И.А. Гончаров, заявивший, что “Анна Каренина” превосходит всю современную европейскую литературу, писал: “Разумеется, возопят смеясь, что это – всего лишь только литература, какой-то роман, что смешно так преувеличивать и с романом являться в Европу. Я знаю, что возопят и засмеются, но не беспокойтесь, я не преувеличиваю и трезво смотрю: я сам знаю, что это пока всего лишь роман, что это только одна капля того, чего нужно, но главное тут дело для меня в том, что эта капля уже есть, если гений русский мог родить этот факт, то, стало быть, он не обречён на бессилие, может творить, может дать своё, может начать своё собственное слово и договорить его, когда придут времена и сроки”. И далее Достоевский утверждает, что в “Анне Карениной” есть то, что составляет “нашу особенность” перед европейским миром, “такое слово, которого именно не слышать в Европе, и которое, однако, столь необходимо ей, несмотря на всю её гордость”.

Первые исследователи нового взгляда на Россию в Западной Европе констатировали решающую роль русского романа в смене западноевропейского общественного мнения, переориентацию оценок, представлений и обобщений, не мотивированных политической и экономической конъюнктурой, с подозрений, обвинений и приговоров на любопытство, симпатию и восхищение. «Скрытый психологический процесс, – утверждалось в петербургском журнале “Вестник Европы”, – вызванный включением русской литературы в общее умственное движение Запада, повлиял неотразимо на международное положение России и изменил коренным образом её общую репутацию в культурном мире». Эту же мысль позднее подчёркивали исследователи международных связей русской литературы. “Историки международных отношений, – писал, например, в этой связи академик М.П. Алексеев, – давно уже обратили внимание на то, что в той перемене тона и характера суждений европейцев о русском народе, которая столь явственно проявилась в конце XIX в., особо важное значение, а по мнению некоторых, даже решающее, сыграла именно русская литература. Вопреки сложным международным отношениям недоверие, которое ранее периодически выражалось России западными европейцами, их высокомерные сомнения в прочности и закономерности русской культурной эволюции, их настороженное отношение к особенностям русского психического склада и т.д. неожиданно сменилось участием, сочувствием к русскому народу и восхищением созданной им культурой”. По справедливому наблюдению Н.Я. Берковского, “откликнулся ли Запад на Тургенева, Толстого, Достоевского, это был отклик на Россию, в каждом писателе искали не столько его самого, сколько нацию и культуру, породившие его”.

Витторио Страда следующим образом охарактеризовал причины грандиозного успеха русского романа в последние десятилетия XIX столетия: “Интеллектуально-этическая проблематика русского романа мощно ворвалась в западноевропейскую философскую мысль и художественное творчество, найдя в них органичный отклик благодаря тому, что русский роман и вообще русская литература и культура были одновременно соприродны и разнородны западной культуре, и даже православие, основа русской культуры, имело с западным христианством общую природу, одновременно отличаясь от него, и являло собой сложную диалектику духовной универсальности и конфессионального многообразия христианской религии”. По-видимому, не будет преувеличением сказать, что лишь благодаря русскому роману западноевропейцы впервые увидели в России одновременно соприродную и разнородную Западу страну, принимаемую в семью европейских народов как равную среди равных, причём принимаемую с готовностью и уважением, а не со страхом или пренебрежением.

Разумеется, как отрицательный, так и положительный образ России и русской культуры формировался прежде всего под влиянием исторических факторов. В конечном счёте историческими причинами – сближением между Россией и Францией – было обусловлено появление книги Э.-М. де Вогюэ “Русский роман” (1886), сыгравшей огромную роль в деле популяризации русской литературы и формирования представлений о русском национальном характере. Книга писателя, озабоченного оскудением религиозного чувства в странах Западной Европы и подчёркивавшего “буддийские” корни русской духовности, в сущности, выполняла ту функцию, которую не могли выполнять для европейской публики доктрины славянофилов, поскольку они воспринимались как пропаганда извне.

Немало известных деятелей культуры Запады благодаря русским романам поверили в особое предназначение русского народа и нашли в России свою духовную родину. Едва ли не самым великим из них был Райнер Мария Рильке. Достаточно сказать, что во всей русской поэзии нет книги, подобной “Часослову” Рильке, книге молитв и песнопений, книге о “русском Боге”, русском иночестве и паломничестве, книге, вдохновлённой Россией и пронизанной верой в её великую миссию.

Первые искушённые читатели и ценители русского романа за рубежом не могли не отдавать себе отчёт в том, что они имели дело с художественной картиной мира, а не с самой реальностью. И тем не менее эта художественная картина мира отныне в значительной мере формировала представление о русском национальном характере и о русском народе. Россия от этого выигрывала уже хотя бы потому, что впервые представление о ней формировалось при её участии, то есть усилиями не только зарубежных политиков, публицистов и путешественников, но и русских людей, пусть даже преобразивших в своём творчестве увиденное и пережитое.

Переводы из Тургенева, Толстого и Достоевского оказались как для первых их читателей, так и для последующих поколений, тех, кто впервые брал в руки романы русских писателей, подлинным откровением. Вне зависимости от того, насколько читатель был способен осознавать дистанцию между действительностью и художественной реальностью, он был вправе, вслед за Стефаном Цвейгом, задуматься о коренных вопросах человеческого бы-

тия, которые ставились русским романом. “Раскройте любую из пятидесяти тысяч книг, ежегодно производимых в Европе, – писал Цвейг. – О чём они говорят? О счастье. Женщина хочет мужа или некто хочет разбогатеть, стать могущественным и уважаемым. У Диккенса целью всех стремлений будет милостивый коттедж на лоне природы, с весёлой толпой детей, у Балзака – замок, с титулом пэра и миллионами. И, если мы оглянемся вокруг, на улицах, в лавках, в низких комнатах и в светлых залах – чего хотят там люди? – Быть счастливыми, довольными, богатыми, могущественными. Кто из героев Достоевского стремится к этому? – Никто. Ни один. Они нигде не хотят остановиться, даже в счастье”.

Коль скоро речь шла о художественной литературе как второй реальности, чрезвычайно широким было поле для мифотворчества. Представление о загадочной русской душе оказалось одним из самых запомнившихся и жизнестойких. Между тем не меньшее значение имело и продолжает иметь то обстоятельство, что любое инонациональное восприятие всегда предполагает наличие “кривого зеркала”, то есть неизбежного искажения, обусловленного переносом изображённых реалий в иной национальный контекст. В результате переводное произведение, если оно получает за рубежом популярность, начинает играть новыми красками, жить иной жизнью, вызывать те ассоциации, которые никак не могли входить в намерения автора. Так, в высшей степени характерным является перевод на японский язык уже самого заглавия первого издания “Капитанской дочки” Пушкина в Японии: “Редкие слухи из России, или Записки о раздумьях бабочки о сердце цветка”. В Испании, как и в других западноевропейских странах, первые переводы “Анны Карениной” имели оглушительный успех, однако на этот раз, в отличие от соседних стран, самые горячие дискуссии вызвало поведение Каренина, простившего жену после её измены. Более того, вскоре появилось несколько испанских романов, герои которых вели себя подобно персонажу Толстого, столь поразившего испанцев с их кодексом чести. В то же время в Индии переводы именно “Анны Карениной”, несмотря на огромную славу Толстого и как романиста, и как мыслителя, долгое время были невозможны, поскольку в романе описывалось безнравственное поведение замужней женщины.

Изучая роль переводов русской классики в смене представлений о России, следует всегда учитывать то значение, которое имеют средства массовой информации для формирования образа России. Поэтому сегодня на вопрос зарубежного преподавателя-русиста: “Почему Раскольников убил процентщицу?” – к сожалению, вполне возможен ответ: “Потому что он русский”. Вне всякого сомнения, уступая лишь средствам массовой информации, русская классическая литература в настоящее время является главным источником представлений о России для миллионов людей, в России не бывавших. Более того, если сегодня, в силу разных причин, средства массовой информации создают по преимуществу отрицательный образ России, то произведения Пушкина, Толстого, Достоевского, Чехова продолжают формировать всё в новых поколениях главным образом положительный образ России.

Знаменательно, что из всей русской литературы, как показал опрос экспертов, приглашённых на проведённый в ноябре 2007 г. Пушкинским Домом и Фондом Д.С. Лихачёва семинар “Международный центр переводчиков русской литературы”, именно классика (творчество Гоголя, Толстого, Досто-

евского, Чехова) наиболее востребована сейчас в мире, к ней более всего предрасположена читательская публика, к ней, рассчитывая на коммерческий успех, наиболее благосклонны издатели.

Удивительна и по-своему замечательна общая переориентация мировой культуры с Толстого на Достоевского. Замечательна в том смысле, что от актуального в Толстом весь цивилизованный мир в 1920-е годы в своих идейных и эстетических поисках и пристрастиях переориентировался на более актуального для XX столетия Достоевского. По-видимому, ещё не пришло время, когда Восток и Запад в своих философско-эстетических исканиях осмыслили бы наконец творчество и Толстого и Достоевского как нечто *вне-временное*, в равной степени растворённое в духовном опыте XX в.

Русские романы давали западноевропейскому читателю всё необходимое, с его точки зрения, для формирования представлений о русском национальном характере. До сих пор миллионы никогда не бывавших в России людей, живущих в различных уголках Земли, имеют вполне отчётливое представление о её обитателях, почерпнутое главным образом из романов Толстого и Достоевского. Романы – вторая реальность, но при отсутствии первой именно они и выполняют её функцию. Поэтому долго ещё средне-статистический русский человек будет проверяться на аутентичность сквозь призму пресловутой загадочной русской души, обнаруживаемой на страницах русских романов.

Подводя некоторые итоги, следует сказать, что отношение к России вскоре после появления первых переводов русского романа на европейские языки в корне изменилось. Россию стали воспринимать теперь как одну из немногих современных стран мира, не только *берущих* у других народов, но и *одаривающих*, предлагающих новые духовные, идейные, эстетические ориентиры. С другой стороны, на смену сугубо “публицистическому” отношению к России пришло многомерное, в котором как “художественная”, так и “духовная” составляющая стали играть отныне огромную роль.

АРХИВ А.П. ПЛАТОНОВА КАК ОБЩЕКУЛЬТУРНОЕ СОБЫТИЕ*

Член-корреспондент РАН Н.В. Корниенко

3 июля 2006 г. президент Российской академии наук Ю.С. Осипов подписал Распоряжение Президиума РАН “О приобретении архива А.П. Платонова”, 7 ноября директором ИМЛИ академиком А.Б. Куделиным и внуком писателя подписаны два договора – о передаче ИМЛИ семейного архива А.П. Платонова и безвозмездной передаче институту (на 17 лет) части авторских прав на издание научного Собрания сочинений А.П. Платонова и сопутствующих научных трудов. Этими датами отмечено общекультурное

* Доклад иллюстрируется материалами из приобретённого РАН архива А.П. Платонова (Отдел рукописей ИМЛИ им. А.М. Горького РАН, фонд А.П. Платонова).

событие: в лице Российской академии наук государство исполнило долг перед величайшим русским художником XX в.

С чего начиналась эпоха академического изучения русской классической литературы, известная во всем мире изданиями Полных собраний сочинений русских писателей XIX в.? С открытия Пушкинского Дома (1905) и формирования архивных фондов Пушкина, Достоевского... Это была государственная программа: выделялись средства на приобретение архивов у наследников, выкупались писательские документы у коллекционеров. Сегодня большая часть архивов русских писателей XX в. остаётся в частной собственности как в России, так и за рубежом. Приобретение РАН архива Платонова – продолжение лучших традиций, прерванных на десятилетия. Для академической филологии теперь открыт доступ к “тайному тайных” писателя – его рукописям и другим драгоценным источникам жизни и творчества, предоставлена возможность исполнить главную филологическую задачу – вернуть в культуру подлинного Платонова, освободить тексты шедевров от бесчисленных наслоений прижизненной и посмертной правки, реконструировать историю текста каждого произведения, написать реальную, а не придуманную в угоду тому или иному политическому моменту биографию писателя.

В XX в. русской истории, с его бурной, то патетически-восторженной, то кровавой “сменой вех”, есть имена, которые восстанавливают и кристаллизуют само понятие “культура”. В деле строительства здания русской культуры – её духовного космоса, самого языка русской литературы как языка евангельского “сокровенного сердца человека” – Платонову принадлежит одно из первых мест. Используя его слова применительно к классикам русской литературы, – они “развили, вырастили русский язык” (статья “К столетию со времени смерти Лермонтова”, 1941), мы можем сказать: Платонов вслед за классиками “выращивал” русский язык в те времена, когда по символической душе языка, его внутренней форме, питательным источникам и народоведению был нанесён сокрушительный удар. Писавшие о Платонове в конце XX в. (А. Битов, И. Бродский, С. Залыгин, В. Распутин и другие) выделяли тему взаимосвязи русского языка и русской истории как центральную платоновскую тему, которую он из века XX передал веку XXI русской литературы и, добавлю, русской истории. Платонов “вечный упрёк всем нам, людям с обычным языком и обычными понятиями”, – признавался С. Залыгин.

Поэт, прозаик, драматург, киносценарист, литературный критик, философ. И одновременно: крупнейший русский мелиоратор-практик, организатор работ по электрификации Воронежской губернии – в 1920-е; старший инженер-конструктор трестов Наркомата тяжёлой промышленности – в 1930-е годы.

Разделить наследие по специальностям возможно, но в случае с Платоновым-художником – крайне непродуктивно. Нас, гуманитариев, Платонов (“Я человек технический”, – говорил он о себе) не особо жаловал. “...Сравнение количества ума и знания, циркулирующего на собрании промышленников и на собрании литераторов, сравнение не в пользу литераторов” – в этой иронической характеристике (статья “Фабрика литература”, 1926), как и в других его оценках, весь Платонов. Не жаловал он и удачливых современников: “гении литературы”, “одержимые достоинством”, “великая Глухая” (это о советской литературе эпохи коллективизации). Весьма жёстко во

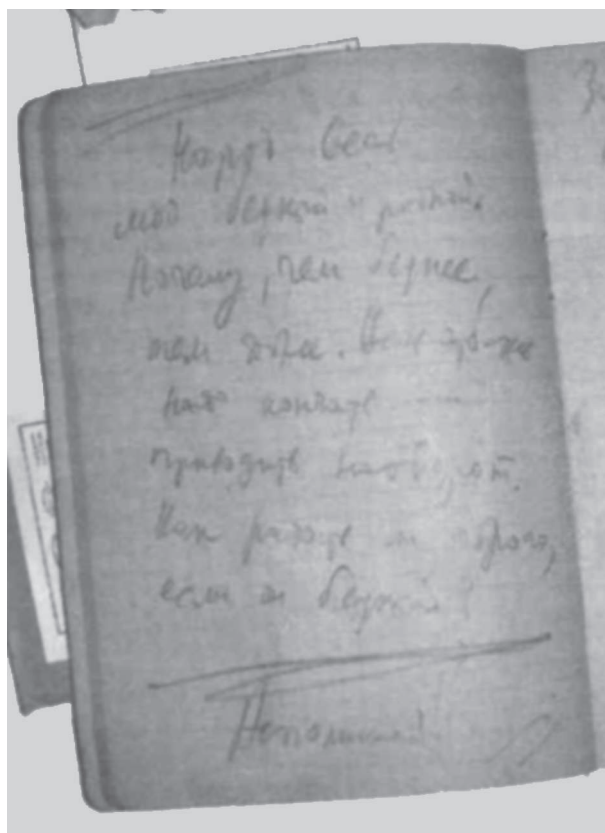
второй половине 30-х звучали платоновские оценки массовой беллетристики на исторические темы: "...Художественная литература не побрякушка и не помада для украшения, скажем, истории. История сама по себе может быть интересной, и она обойдётся без беллетристической косметики".

Пребывая в привычной филологической логике, мы просто не можем реконструировать реальный писательский путь Платонова, ибо этот путь, то есть жизнь не выдуманного нами Платонова, определялся последовательным отторжением литературоцентризма современной ему эпохи, а его сверхреальная эстетика рождалась, по его словам, из "низкой действительности" русской и мировой жизни XX в. Он создал хронику русской жизни первой половины XX в., был художественным летописцем – помышлению, по отношению к народной жизни. В творчестве Платонова отсутствуют так называемые "извиняющие обстоятельства": время-де было такое! Как и его знаменитый герой "душевный бедняк", Платонов "мог ошибиться, но не мог солгать" ("Впрок"). Житейская логика, как известно, иная: чтобы не ошибиться, можно и солгать. Платоновская небоязнь прямого контакта с действительностью, со жгучей реальностью и сегодня представляется единственной в своей уникальности. Он описывает реальность прямо, без отстранения, не боится её, он абсолютно точен, пишет "прямым чувством жизни". "Котлован" написан по горячим следам "года великого перелома" – к концу 1930 г. В 1933 он создаёт трагедию "14 Красных избушек" – о голоде 1932–1933 гг. в СССР. Это была трагедия не только украинского народа, но и многих народов России, в том числе её европейской части. Подробные письма М. Шолохова И. Сталину о голоде на Дону впервые были опубликованы только в 1992 г., через 60 лет. Замечу, что трагедия не писалась Платоновым в стол, она читалась, о ней есть сообщение в сводках НКВД, что-де в первом акте Платонов мимоходом высмеивает советских писателей. Последнее – правда, первое действие написано как комедия советской литературы (в 1933 готовились к писательскому съезду; встреча писателями иностранных гостей составляет первое действие), а его сменяют картины умирания народа, забытого всеми, в том числе "высокой" литературой. Платонов заканчивал первую пятилетку "Котлованом" и народной трагедией. Это был духовный подвиг в масштабе большой русской литературы с её заботами о жизни и вечности, защитой народоведения и "внутренней формы" русского языка.

"...Могу ли я быть советским писателем, или это объективно не возможно", – прямо спросит Платонов Горького в письме 1933 г. Этот же вопрос – и в письмах Сталину. Адресаты промолчали. Сам Платонов даст ответ на прямо поставленный им вопрос. Даст в 1943, на фронте, где он находился с 1942 по 1945 г.: "Все думают, что я против коммунистов. Нет, я против тех, кто губит нашу страну". Это ответ и кредо большого русского писателя.

Платоновская философия бытия, точная хроника событий – это и есть история, овеществлённая в образе, "святом семени искусства" (Ин. Анненский). Мы порой занимаемся мифологизацией факта, того или иного документа. Зададим вопрос: где и у кого можно набрать полноту фактов о русской истории XX в., кто ею владеет? В художественном образе – великая правда. Русская литература – литература образа. Образ может открыть новое историческое видение темы, масштабную философско-историческую концепцию. Вот почему так объёмен реальный комментарий платоновского текста, где за





Страница записной книжки 1937 г.

сверхсимволическими и реалистическими образами всегда стоят мельчайшие детали быта и обихода современной ему эпохи, которую мы пока мыслим и знаем в “общих масштабах”, а Платонов писал жизнь “частного Макара”.

Я остановилась лишь на некоторых гранях художественной методологии Платонова, чтобы сказать, что в возвращении этого величайшего наследия мы накопили больше отрицательного, чем положительного опыта. Перевес в современной гуманитарной науке интерпретаторских подходов (особенно это касается изучения русской литературы XX в.) – печальная традиция, ведущая в итоге к катастрофическому падению уровня безусловного знания о писателе, его творчестве, об эпохе, в которой он жил, и об истории русской литературы.

Есть два принципа отношения к наследию, сформулированные Д.С. Лихачёвым в его работах по текстологии: “Сперва издать – потом исследовать” и “Сперва полностью изучить историю текста памятника, а потом его критически издать”.

Не надо объяснять, какой принцип торжествует сегодня, в условиях рынка, в изданиях русских классиков XX в. У нас есть собрания сочинений Бунина, Куприна, Булгакова, Шолохова, Шмелёва, Зощенко, Вс. Иванова, Леонова, скоро на рынке появится и собрание сочинений Платонова, но у нас

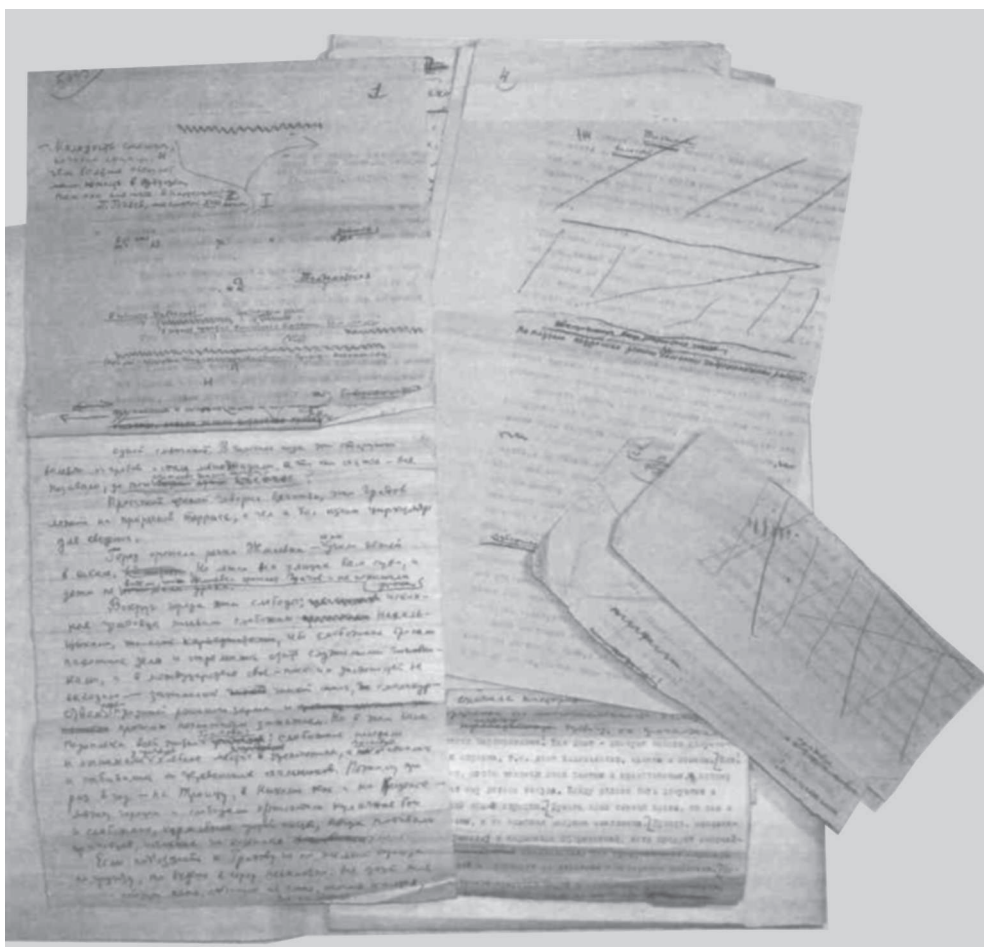
практически нет изданий этих писателей (я назвала лишь некоторые имена), выдерживающих элементарную текстологическую критику. На рынке оказались востребованными классические формулы текстологии, например, “подготовка текста”. На самом же деле, если без обмана, это не подготовка текста, а его перепечатка, ибо подготовка включает как обязательный элемент работу с рукописями и сверку всех источников текста: от автографа – до всех его прижизненных переизданий.

История прижизненных и посмертных изданий Платонова, о которой мне не раз приходилось писать, в некотором смысле типична для наследия русского писателя советской эпохи: текст уродовали при жизни писателя и столь же усердно – после его смерти.

На полях многих машинописей Платонова рядом с замечаниями и вопросами, правкой редакторов можно встретить лаконичные записи: “Если будете править – не надо пускать. Платонов”; “Нужно!”; “Прошу считать помоему. Платонов”; “Надо!”; “Прошу оставить как есть. А.П.” и т.п. Этот акт авторской воли предопределил прижизненные судьбы многих произведений писателя. Пройдя по редакциям и издательствам, они чаще всего обретали новую авторскую редакцию, вновь предлагались к печати, публиковались с нарушением авторской воли, оседали в редакционных папках не принятых к печати произведений или возвращались Платонову. Многочисленные подцензурные авторские редакции почти каждого текста ставят сложнейшие вопросы для текстолога, ибо платоновские подцензурные редакции эстетически одна лучше (а не хуже) другой.

Наличие редакций опровергает один из самых устойчивых мифов об антисоветскости Платонова, который якобы всё писал в стол. На самом деле – прямо противоположное. Даже самые крамольные произведения о текущей современности (роман о революции и коммунизме “Чевенгур”; повести “Котлован” и “Джан”, трагедия “14 Красных избушек”) предлагались Платоновым к публикации и широко обсуждались в литературных кругах. В 1932 г. один из осведомителей НКВД, информируя об обсуждении в издательстве романа “Чевенгур”, о поддержке его издания писателями-коммунистами, советовал напечатать роман в 100 экземплярах, дать почитать вождям и предлагал “купить эту вещь у автора и законсервировать её лет на десять”.

Главные произведения Платонова будут законсервированы не на десять лет. Их возвращение к читателю было не менее драматичным. Чтобы ввести Платонова в привычные тематические рамки советской литературы, в те ряды и оппозиции, что были дозволены идеологией “оттепели”, в которой критика культа личности Сталина соединилась с небывалой романтизацией Ленина (знаменитая лениниана этих лет), необходимо было прежде всего исправить текст Платонова. Эта же традиция несмирения со словом писателя сохранилась в эпоху перестройки, когда Платонов интенсивно вписывался теперь уже в антисоветскую литературу, в диссидентское её крыло. Купировались сомнительные диалоги; имя Сталина повсеместно заменялось то на Ленина, то на ЦК или “весь народ”; платоновский антиутопизм (“Я теперь в коммунизм не верю” – финальная догадка героя “Котлована”) заменялся на приятный либеральному уму экзистенциализм (“Я теперь ни во что не верю”) и т.п. Через правку стиля, языка писателя радикально изменялась идеология произведения. Скажем: “Но родина **стала** ему безвестной” на “Но



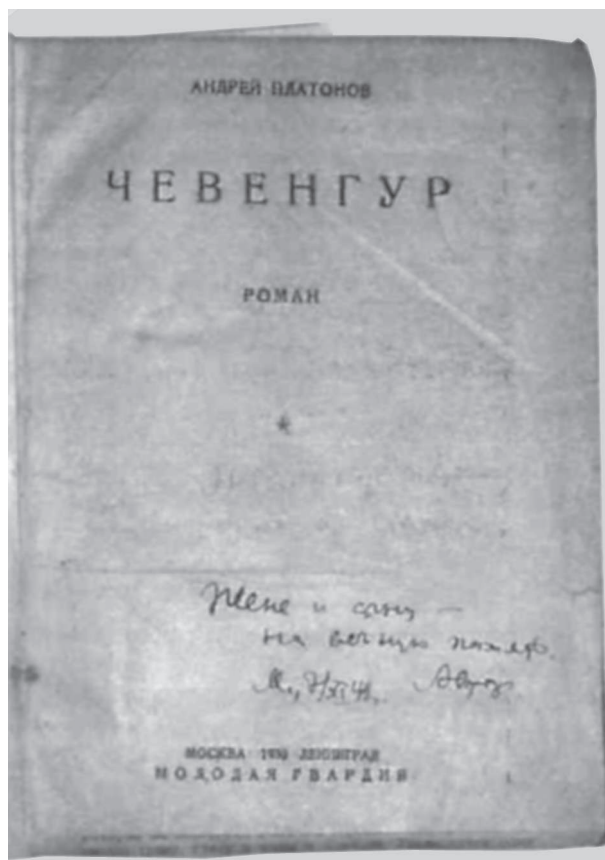
Вторая редакция “Города Градова”

родина **была** ему безвестной” (“Котлован”). Удар по платоновскому народо-ведению, той глубине образа, который несёт содержание большого философского обобщения: речь идёт о мужике Елисее, у которого отняли землю, дом и отнимают последнее его убежище – домовину (гроб), лишившись которых он ощущает утрату родины (поэтому у Платонова – “стала”). Поляризованное любовью-ненавистью к “отцу Сталину” интеллектуально-гуманитарное сознание рубежа XX–XXI вв. как сокровенный обсуждало отнюдь не сокровенный вопрос, который сформулирован в повести “Котлован” первоклассницей Настей: “Дядя Чиклин, Сталин только на одну каплю хуже Ленина, а Будённый на две” (фрагмент исчез из впервые опубликованного текста повести).

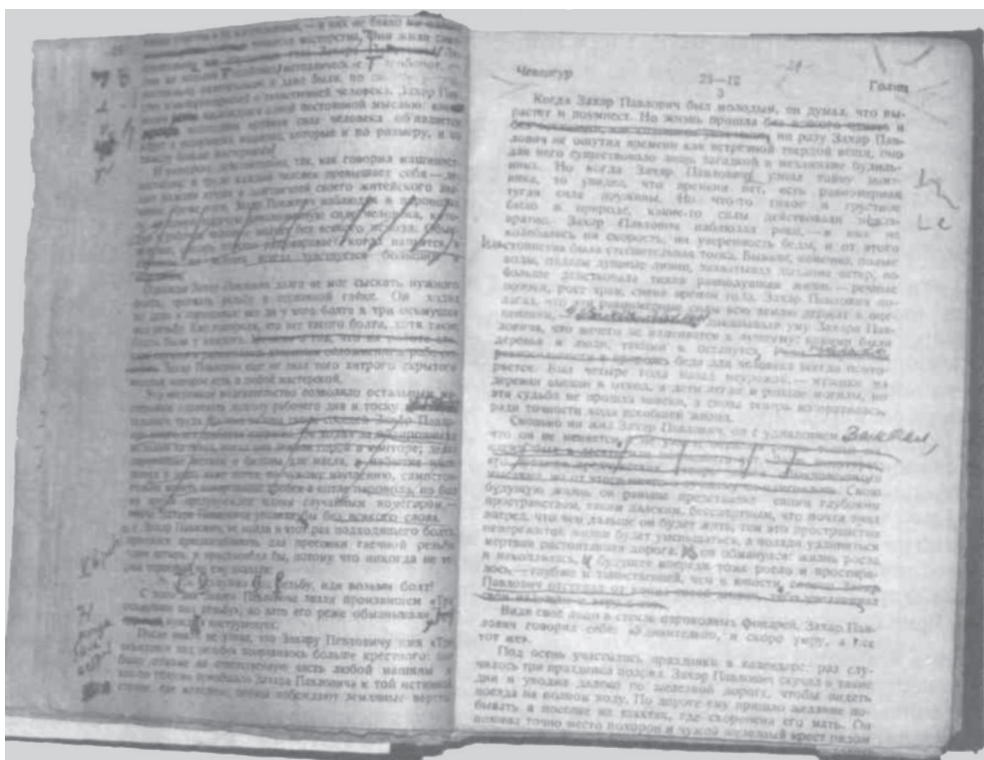
Были и вовсе комические сюжеты. В 90-е годы в периодике широко раскручивалась публикация ранее не известного “Технического романа” Платонова. Сенсационность крылась в самом романе и, конечно, в архиве КГБ, откуда он был изъят. Напечатанный текст действительно был занимателен:

он представлял монтаж философско-эстетических резюме и сюжетов из массовой жизни технической молодежи... Как о постмодернистском тексте о “Техническом романе” напишет критика, в этом виде роман был переведён на иностранные языки и т.п. Мне пришлось распутывать почти детективную историю текста “Технического романа”. В остатке оказалось: опубликованный в 1991 г. текст “Технического романа” был ещё в 30-е годы смонтирован филологом литературного отдела КГБ (в те годы – ОГПУ), который пересказал своим языком (не бездарно) описательные и лирические фрагменты романа и соединил их с крамольными, с политической точки зрения, сюжетами. Так появился “платоновский” монтаж...

Следствием такого состояния основного корпуса произведений Платонова стало то, что не только критика, но и филологическая наука продолжала (и продолжает) работать с текстами, не выдерживающими элементарной текстологической критики. До сегодняшнего дня ведутся дискуссии о двух финалах повести “Джан” (на самом деле в двух авторских редакциях повести финал Платонов никогда не изменял, просто так повесть впервые напечатали в 1970-е годы); активно проводится мифопоэтический и структурно-статистический анализ искажённых платоновских текстов; вполне серьёзно



Титульный лист романа “Чевенгур”



Корректурa романа “Чевенгур”

повторяются исполненные пафоса утверждения критиков перестройки, что Платонов никогда, в отличие от его провинившихся великих современников, не писал о Сталине (на самом деле прямо обратное: начиная с “Впрок” и “Котлована” тема Сталина именно в творчестве Платонова становится одной из ключевых и серьёзных, отнюдь не сатирических тем) и т.д.

Мы остановились лишь на некоторых обстоятельствах драматического пути возвращения наследия Платонова, которые позволяют понять значение принятого Российской академией наук решения о приобретении семейного архива писателя.

После его смерти на основе семейного архива формировались фонды писателя в РГАЛИ (1951), ГЛМ (1960-е гг.), ИРЛИ (конец 1970-х). Однако основной массив писательского архива наследниками не передавался никому и оставался закрытым. В тяжелейшие 1990-е годы в ИМЛИ началась работа по формированию Платоновской группы, в качестве старшего научного сотрудника была приглашена дочь писателя Мария Андреевна Платонова; частично для работы был открыт семейный архив, что позволило приступить к подготовке собрания сочинений Платонова. За эти годы были подготовлены и вышли в свет “Записные книжки”, 1-й том (в 2-х книгах) научного собрания сочинений, 6 выпусков труда-спутника. Группой также осваивались нелитературные архивы. Свод новых платоновских материалов (романы, письма, документы) был извлечён нами из архива ФСБ, из фондов Министерства сельского хозяйства и тяжёлой промышленности ГАРФа.

После смерти дочери писателя (октябрь 2005 г.) со всей остротой встал вопрос не только о продолжении работы над собранием сочинений, но и о судьбе самого архива. В этих драматических обстоятельствах Академия наук принимает решение, которое, я уверена, будет вписано золотыми буквами в историю сохранения культурного наследия России.

Сейчас архив находится в ИМЛИ, систематизируется и описывается. После составления научной описи будет проводиться реставрация рукописей (Платонов писал карандашом на очень плохой бумаге). Продолжается работа над собранием сочинений, которое мы обязаны (по договору с наследником) издать в течение 17 лет. Для рыночного издания – это колоссальный срок, для научного – предельный. Академическому платоноведению предстоит обрести смирение, пройти самый сложный путь научного освоения бесценного архива, подготовить следующие тома научного собрания сочинений, которые станут научной основой для массовых изданий и переизданий.

РУССКИЙ ЯЗЫК И РУССКОЯЗЫЧНОЕ НАСЕЛЕНИЕ В СТРАНАХ СНГ И БАЛТИИ

Член-корреспондент РАН В.А. Тишков

В издательстве “Наука” только что вышла в свет книга, основанная на материалах международной научной конференции “Русский язык в странах СНГ и Балтии”, которая была организована Отделением историко-филологических наук РАН в октябре 2007 г. Она содержит обширную информацию о положении русского языка и русскоязычного населения в странах нового зарубежья. Свою задачу я вижу в сравнительной оценке ситуации, её возможного развития, а также в формулировании некоторых научных рекомендаций.

Сначала о феномене, который называется “русский мир”. Российский народ создал самое обширное по территории государство в мире и входит в число десяти самых крупных по численности народов мира. Далеко не всем государствам и народам удаётся породить феномен глобального масштаба, который можно было бы определить как “мир”, то есть *трансгосударственное и трансконтинентальное сообщество, объединённое причастностью к определённому государству и лояльностью к его культуре*. Такими мирами обладают, наряду с Россией, только Испания, Франция и Китай, а также Ирландия вместе с Великобританией.

“Мир”, или диаспора, – это не просто сумма эмигрантов, выехавших с территории исторического государства в разные эпохи и в разные страны или оказавшихся вне родины в результате распада либо изменения границ государства. Сама по себе диаспора не гарантирует возникновения за рубежом родины *родственного внешнего мира*. Диаспора становится именно русской диаспорой, а не тривиальной совокупностью выходцев из страны потому, что она осознаёт и воспроизводит своё единство во внешнем мире

на основе главной культурно-отличительной черты, а именно – русского языка. Утратившие язык, как правило, теряют свою принадлежность к русскому миру.

Если брать критерий русского языка, тогда о каком множестве можно вести сегодня речь? По нашим данным, русский язык является родным для 147 млн человек, а ещё 113 млн владеют им как вторым языком. Общая оценка знающих и использующих русский язык составляет 260 млн человек. По степени распространённости (числу носителей языка) русский язык является пятым языком в мире (после английского, китайского, испанского и арабского). Обширна география его распространения за пределами России. Помимо новых постсоветских стран, русскоязычные люди проживают в странах Европы (около 3 млн), в США (около 3 млн) и Израиле (750 тыс.). По переписи 2000 г., в США для 700 тыс. человек русский язык был первым языком домашнего общения.

Замечу, что собственно русские (великороссы) были и остаются в меньшинстве в дальнем русском мире. Например, в США только 25% русскоговорящих – этнические русские. В Европе две трети русскоговорящих – это российские немцы, греки, евреи, армяне, украинцы и другие нерусские мигранты из СССР и постсоветских государств. Только из Казахстана и России в 1990-е годы в Германию выехало около миллиона российских немцев, для которых русский язык является родным. Тем не менее русская этническая принадлежность очень важна для советских и постсоветских волн эмиграции и для новых *диаспор без миграции*, как православие было важнейшим сплачивающим фактором для более ранних (досоветских) волн миграции. *Для постсоветских эмигрантов и для тех, кто никуда не уезжал, но от кого “мигрировали” границы родины, доминирующими факторами идентификации с русским миром являются язык, этничность и гуманитарно-политические связи с Россией.*

Что случилось с “новым русским миром”, который возник после 1991 г.? Речь идёт о странах бывшего СССР, где сегодня проживает самое большое число носителей русского языка за рубежом и где ситуация в последние 15 лет развивалась негативно. Как известно, в СССР население союзных республик в подавляющем большинстве знало русский язык. Это был язык многофункционального общения советских людей разных национальностей. Это был родной язык (в ожеговском смысле, как *основной язык знания и общения*) не только этнических русских, но и десятков миллионов нерусских людей. Советские переписи сильно занижали число граждан, для которых родным языком являлся русский, ибо вопрос о родном языке задавался без уточнения языковой компетенции. Очень многие называли родным язык своей национальности, хотя на самом деле этим языком не владели. Если бы были известны реальные цифры распространения русского языка в союзных республиках и использования его населением, то было бы гораздо труднее осуществить столь масштабную языковую репрессию в отношении его носителей. Ведь около половины населения таких новых государств, как Украина, Латвия, Казахстан, Киргизия, треть населения Молдавии, Эстонии, Грузии (если считать с Абхазией и Южной Осетией), были лишены фундаментального права на государственный статус своего родного языка. Исключи-

Таблица 1

Статус русского языка и численность владеющих им (млн чел.), 2004 г.

Страна	Статус языка	Численность населения	Численность русскоязычных (родной язык)	Численность активно владеющих	Численность не владеющих
Азербайджан	иностранн	8.2	0.25	2.0	2.7
Армения	иностранн	3.2	0.015	1.0	1.0
Белоруссия	государственный	10.2	3.2	8.0	0.2
Грузия	иностранн	4.5	0.13	1.7	1.8
Казахстан	официальный	15.1	4.2	10.0	2.8
Киргизия	официальный	5.0	0.6	1.5	1.5
Латвия	иностранн	2.3	0.96	1.3	0.3
Литва	иностранн	3.4	0.25	0.5	0.5
Молдова	межнационального общения	3.4	0.45	1.9	0.5
Таджикистан	межнационального общения	6.3	0.09	1.0	3.3
Туркменистан	межнационального общения (иностранн)	4.8	0,15	0.1	3.8
Узбекистан	межнационального общения	25.0	1.2	5.0	10.0
Украина	язык нацменьшинства	48.0	14.4	29.0	8.0
Эстония	иностранн	1.3	0.47	0.5	0.3
Итого		140.7	26.4	63.6	37.7

тельно по причине дистанцирования от России и отстранения русскоязычных от власти и ресурсов была осуществлена эта узурпация, позорно поддержанная так называемым международным сообществом.

В 1989 г. в союзных республиках русского языка не знали около 20 млн человек, главным образом жители Средней Азии и Азербайджана. С тех пор прошло 18 лет, и ситуация сильно изменилась в сторону сокращения числа носителей русского языка и масштабов его использования (табл. 1). В таблице дана оценка числа жителей стран СНГ и Балтии (2004), которые считают русский язык родным или активно им владеют, а также тех, кто сегодня его не знает. Прежде всего отмечу, что русский язык сохраняет своё мощное присутствие, несмотря на дискриминацию и снижение его статуса до так называемого языка межнационального общения или языка меньшинства (миноритарный язык). Государственным он объявлен только в Белоруссии, а официальным – в Казахстане и Киргизии. В Белоруссии 97% населения, в странах Балтии и Украине – около 80%, в Молдове, Казахстане, Киргизии, Грузии и Армении – около 70% людей говорят или могут говорить по-русски. Общая оценка считающих русский язык родным – 26.4 млн человек, активно владеющих – 63.6 млн, а не владеющих – 37.7 млн человек. По сравнению с 1989 г., численность не владеющих русским языком увеличилась примерно в 2 раза. Как и в прошлом, не знают русского многие жители стран

Средней Азии и Азербайджана, но теперь также Украины, Грузии и стран Балтии. Возможно, некоторые люди не хотели показывать знание языка по политическим соображениям, ибо трудно поверить, что 8 млн жителей Украины и 1.8 млн – Грузии не владеют русским языком. Однако такое возможно, ибо известно, что языковая ситуация способна меняться довольно быстро: в течение жизни половины поколения люди могут забывать или осваивать тот или иной язык.

В новом зарубежье произошло масштабное сокращение преподавания на русском языке и обучения русскому языку в школе, тотальный перевод государственно-бюрократических машин на титульные языки и резкое сужение русскоязычного информационного пространства. В 1990-е годы закрыто 13 тыс. русских школ, а число обучающихся в них сократилось более чем на 2 млн человек и составляет 3.7 млн человек. И всё же школьное обучение на русском языке сохраняется в большинстве постсоветских государств: в Белоруссии – для 75% учащихся, Казахстане – 41%, Украине – 25%, Киргизии – 23%, Молдове – 21%, Азербайджане – 7%, Грузии – 5%, Армении – 2%. Вместо 20 тыс. русскоязычных школ в бывших союзных республиках сейчас действует около 7 тыс. и 3.5 тыс. – двуязычных. Замечу, что дети из русских семей составляют в них не более 2/3, а иногда менее половины учащихся. Например, в Грузии из 32 тыс. учеников школ с обучением на русском языке собственно русских менее 7 тыс., а 25 тыс. – это дети преимущественно из грузинских семей.

Приведу данные о демографической основе существования русского языка, а именно – о количестве этнических русских в сравнении с последней советской переписью 1989 г. (табл. 2). Видно, что общее число русских в бывших республиках СССР (без России) сократилось на 7.5 млн человек (почти на 30%!). Но мы знаем, что в Россию переехали примерно 2.5–3.5 млн и около 0.5 млн эмигрировали в дальние страны. Куда делись не менее 3.5 млн русских людей, прежде всего на Украине: в Россию отсюда уехало около 0.5 млн, а число русских сократилось на 3 млн! Из Казахстана уехало около 1 млн, а русских стало меньше на 2 млн! Уменьшение числа русских на Украине произошло в результате смены гражданами национальности с русской на украинскую. Местные политики и эксперты называют этот процесс “украинизацией”. Однако это не ассимиляция в её классическом виде: просто в независимой стране быть украинцем более комфортно и политически выгодно, однако, меняя национальность, люди не теряют знание русского языка, сохраняют русскую или смешанную идентичность. Кстати, аналогичная массовая перезапись, но только из украинцев в русские произошла на Украине между переписями 1926 и 1937 гг., дав политически ангажированным историкам аргумент для зачисления ещё нескольких миллионов украинцев в число жертв голода 1932 г.

В Казахстане перезапись не могла играть такой роли в сокращении численности русских, ибо русскому записаться казахом гораздо труднее по ряду обстоятельств: не та степень этноязыковой, религиозной и фенотипической близости. Но в Казахстане перепись проходила в 1999 г. в разгар всплеска казахского национализма, когда действовала установка достичь численного превосходства казахов в республике. Перепись проводилась при игнориро-

Таблица 2

Численность русских в странах СНГ и Балтии (тыс. чел.), 1999–2004 гг.

Страна	1989	Постсоветский учёт	Убыль, %
Россия	119 865.9	115 868.5 (2002)	–3.3
Украина	11 356	8334.0 (2001)	–26.6
Казахстан	6228	4479.6 (1999)	–28.1
Узбекистан	1653	1362.0 (оценка)	–17.6
Беларусь	1342	1141.7 (1999)	–14.9
Латвия	906	703.2 (2000)	–22.4
Киргизия	917	603.2 (1999)	–34.2
Эстония	475	351.2 (2000)	–26.1
Литва	344	219.8 (2000)	–36.1
Молдова	562	198.1 (2004)	–64.8
Туркменистан	334	156.8 (оценка)	–53.1
Азербайджан	392	141.7 (1999)	–63.9
Таджикистан	388	68.2 (2000)	–82.4
Грузия	341	67.7 (2002)	–80.1
Армения	52	15.0 (2001)	–71.2
Всего	145 155.9	133 710.7	–7.9
Без РФ	25 290.0	17 842.2	–29.4

вании городского (преимущественно русского) населения, и недоучёт среди этой части граждан был гораздо выше, чем среди казахов. Мой вывод состоит в том, что, независимо от естественного движения населения (рождаемость–смертность–миграция), *демографический потенциал русских за рубежом может как сокращаться – на фоне ассимиляционного и бюрократического пресса, так и возрастать – при благоприятных социально-политических условиях, среди которых важны положение и политика России.*

Реальную ситуацию с русским языком в странах бывшего СССР в настоящее время демонстрируют результаты последнего (октябрь 2007 г.) опроса, проведённого организациями “Евразийский монитор” и “Наследие Евразии” через социологическую службу “Циркон”. Это данные по 12 странам (без Туркмении и Узбекистана), в обследовании приняли участие 15 тыс. человек (от 1 до 2 тыс. в каждой стране).

Один из самых важных показателей присутствия языка в обществе – это использование его в качестве языка домашнего общения (рис. 1). Как видим, примерно в половине стран (Литва, Армения, Грузия, Азербайджан, Таджикистан плюс Туркмения и Узбекистан) русский язык фактически перестал быть языком, на котором люди разговаривают дома. Единственное сомнение у меня как этнографа, который верит включённому наблюдению не меньше, чем социологическому опросу, есть насчёт Грузии. Наоборот, в Белоруссии, Казахстане и на Украине большинство или половина населения говорит дома по-русски или на двух языках, исключительно на титульном – меньшинство. В Молдове, Эстонии, Киргизии и Латвии на русском дома разговаривает от 20 до 40%.

В общении с друзьями и знакомыми вне работы русский почти не используется в странах Закавказья, Литве и Таджикистане (рис. 2). Опять же трудно

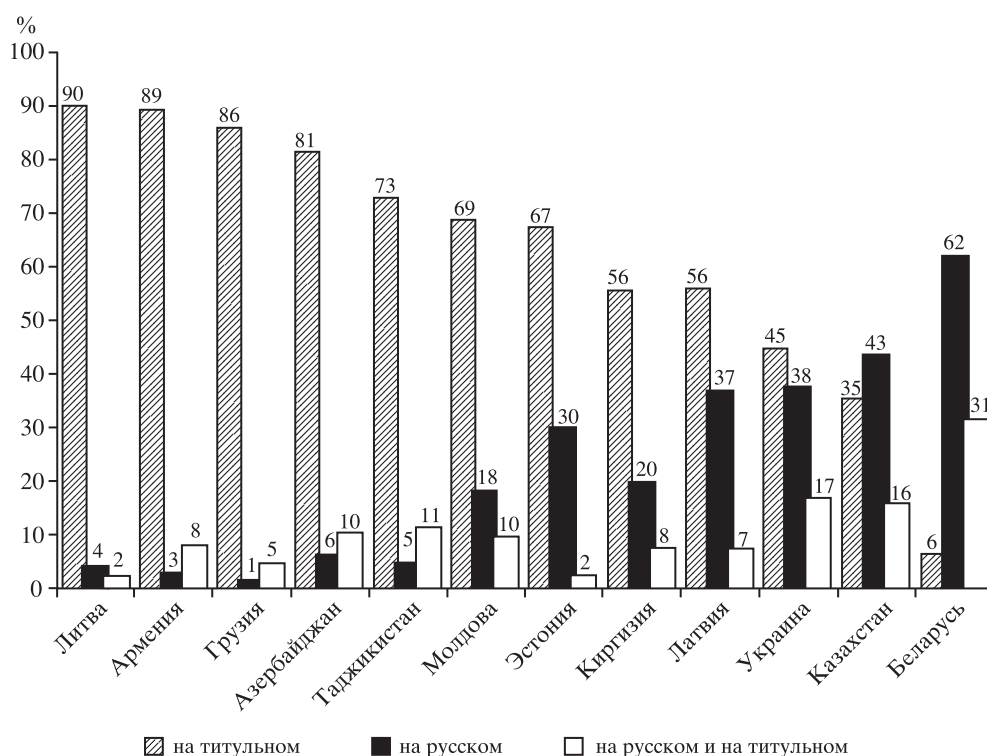


Рис. 1. Результаты ответа на вопрос “На каком языке Вы обычно общаетесь в семье, дома?” (2007), %

поверить, что только 1% людей в Грузии используют русский в общении вне дома: достаточно побывать на улицах Тбилиси, чтобы усомниться в этом. Но в целом картина верная, и она впечатляет высокой степенью использования русского языка в половине стран СНГ и Балтии. На Украине русский не уступает украинскому языку, а в Белоруссии практически всё население говорит вне дома на русском. Даже в репрессивных для русского языка сферах учёбы и трудовых отношений русский используется наравне с титульным в Киргизии и на Украине и шире титульного – в Казахстане и Белоруссии (рис. 3).

Наконец, задавался прямой вопрос о степени владения русским языком (рис. 4). Мы видим, что на Украине, в Казахстане, Латвии, Молдове, Эстонии, Киргизии, Таджикистане, Армении, Грузии, Литве от 50 до 84% населения активно владеют русским языком, а Белоруссия находится на уровне России (96%). Убедительными оказались данные о потреблении информации на русском языке (рис. 5). Если прессу и книги на русском люди читают примерно с той же интенсивностью, что и используют русский язык дома и на работе, то русскоязычное телевидение оказывается безусловным лидером среди поставщиков информации.

В ходе исследования были получены интересные сведения о языковой ситуации непосредственно среди русскоязычного населения стран СНГ, то

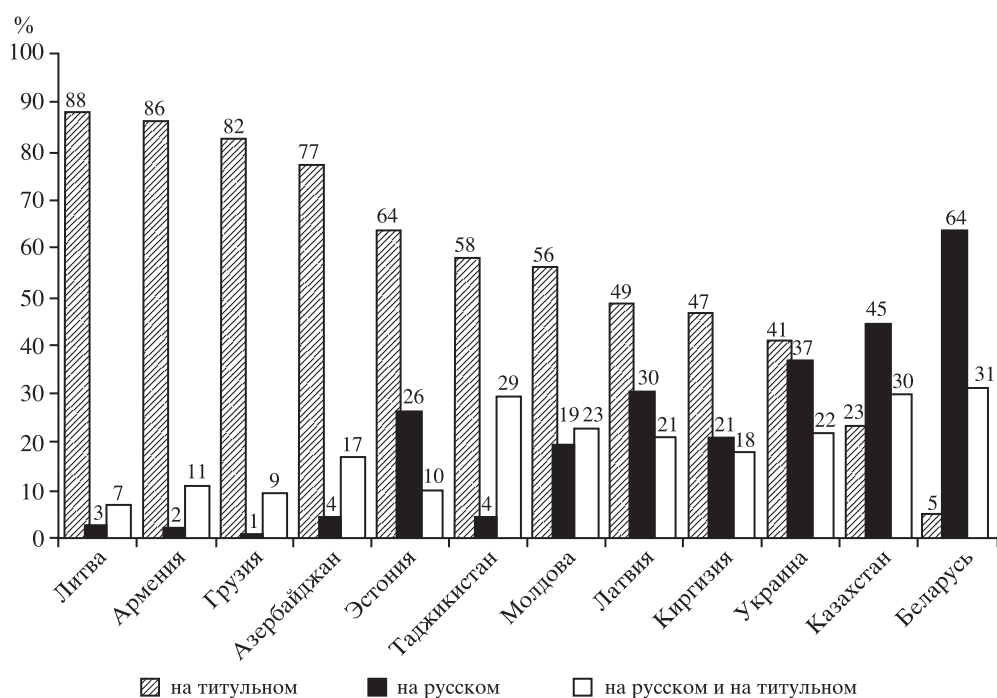


Рис. 2. Результаты ответа на вопрос “На каком языке Вы обычно общаетесь с друзьями и знакомыми вне работы?” (2007), %

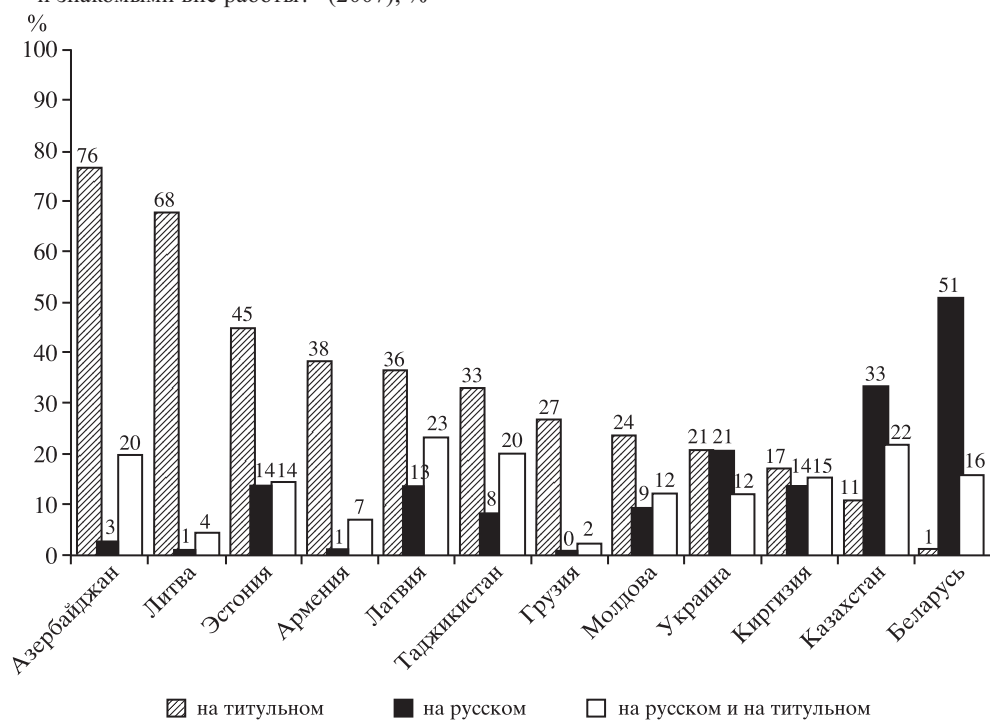


Рис. 3. Результаты ответа на вопрос “На каком языке Вы обычно общаетесь на работе или по месту учебы?” (2007), %

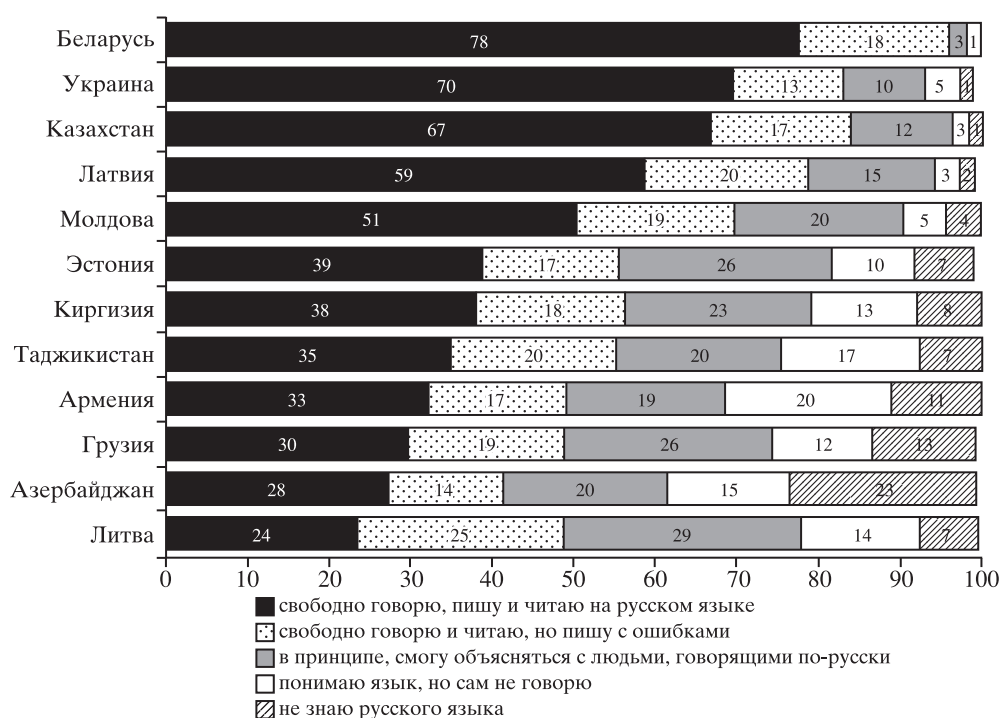


Рис. 4. Результаты ответа на вопрос “Насколько свободно Вы владеете русским языком?” (2007), %

есть среди тех, кого сейчас принято называть соотечественниками. Это данные Института диаспоры и интеграции, который провел опрос 5 тыс. человек в шести странах (табл. 3). Они показывают использование языка титульной нации, реальную потребность в нём и позволяют судить, возможна ли языковая ассимиляция русских. Моя гипотеза начала 1990-х годов заключалась в том, что после распада СССР русские из нового зарубежья, с одной стороны, в массе своей не покинут территории проживания, а с другой – не будут ассимилироваться в среду титульных национальностей по ряду причин (высокий статус родного языка и культуры, наличие по соседству “материнской” страны, большая этнокультурная дистанция). Некоторые специалисты, наоборот, предрекали или исход русских, или их ассимиляцию. Ни того ни другого не случилось. Но есть некоторые коррективы и в моих предположениях.

Лишь малая часть русскоязычного населения осваивает титульные языки стран ближнего зарубежья. Самые высокие показатели в Армении, где русских мало и у них не остаётся другого выхода, а также в Белоруссии и на Украине (по причине близости языков). В остальных странах (Киргизия, Казахстан, Молдова) титульный язык знают от 5 до 14%. В странах Балтии процесс освоения русскими титульных языков идёт более интенсивно, но утраты родного языка при этом не происходит. Причина слабого освоения титульных языков в ряде стран состоит, в частности, в том, что подавляющее

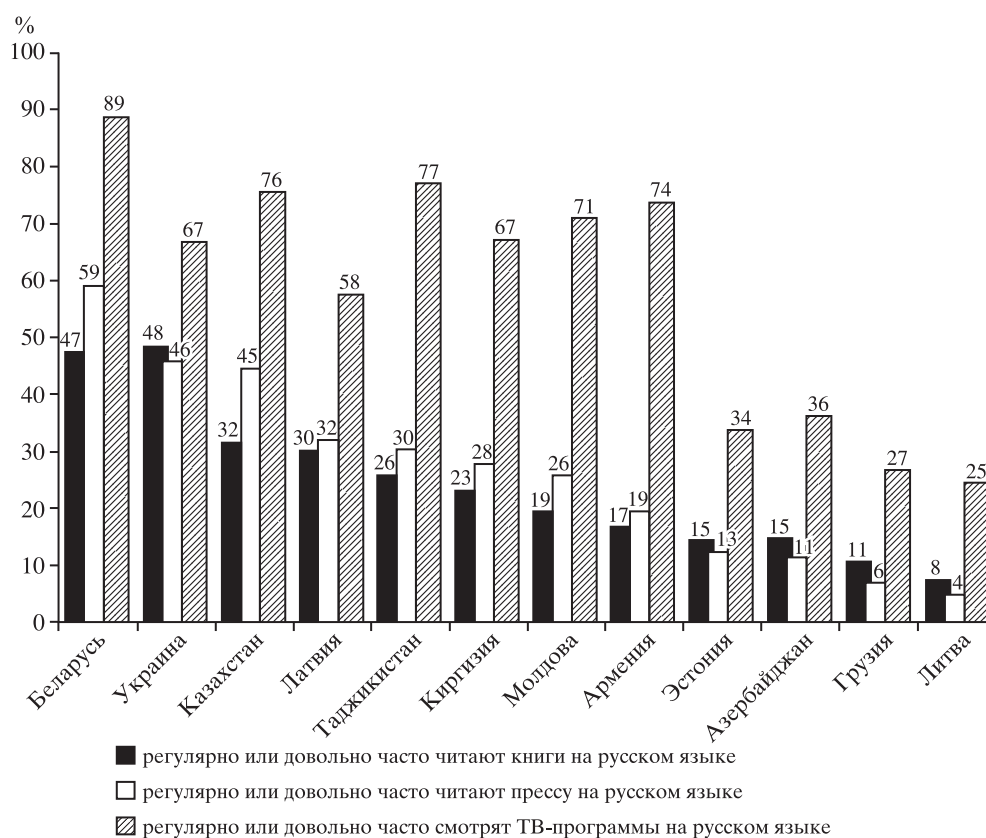


Рис. 5. Потребление информации на русском языке в странах ближнего зарубежья (2007), %

Таблица 3

Ответы на вопрос “В какой степени Вы владеете языком титульной нации?”,
% от числа русскоязычных опрошенных

Страна	Владеют языком			
	свободно	практически не владеют	могут объяснить	затрудняются ответить
Армения	44.0	16.6	39.2	0.2
Беларусь	29.6	26.3	41.6	2.5
Казахстан	6.2	63.2	25.9	3.8
Киргизия	4.7	58.9	35.1	1.0
Молдова	14.0	39.2	45.8	1.0
Украина	36.0	22.0	40.4	1.4

большинство соотечественников продолжают пользоваться русским языком на работе и в учебном заведении. Например, в Киргизии это относится к 90.5% русскоязычного населения, в Белоруссии – к 88.8%, в Казахстане – к 80.6%, на Украине – к 79.9%, в Молдавии – к 75.3%, в Армении – к 31.9%

(а ещё 51.8% пользуются обоими языками). Дети и внуки у многих тоже обучаются на русском языке, но ситуация здесь уже не столь благополучная. Половина русских, живущих на Украине, вынуждена обучать своих детей и внуков на языке титульной национальности. В других странах СНГ русские имеют более широкий выбор: в Армении и Казахстане почти 70% детей наших соотечественников могут учиться на родном языке, в Молдавии и Киргизии – 90%. Существенно хуже дело обстоит в странах Балтии. Через 10–15 лет это может заметно изменить ситуацию не в пользу русского языка.

В заключение некоторые выводы и рекомендации.

Учитывая реальную языковую ситуацию и международно признанные языковые права людей, русский язык должен быть наделён официальным статусом в тех странах, где хотя бы для трети налогоплательщиков он является основным языком, который человек знает и на котором общается, то есть родным языком. В соответствии с международными стандартами решения языковой проблемы в полиэтнических государствах целесообразно поддерживать требования восточных регионов Украины о придании русскому языку статуса второго государственного. Руководствуясь международно-правовыми нормами и заботой о развитии русского языка, Россия не должна снимать вопрос об официальном двуязычии для таких стран бывшего СССР, как Казахстан, Украина, Латвия, Молдова, Киргизия.

Если равностатусность за русскими не будет признаваться, тогда Россия должна поддерживать обе формы внутреннего самоопределения культурно-отличительных групп: этнотерриториальную – через федерализацию ряда постсоветских государств, где есть более или менее гомогенные ареалы проживания русских (Украина, Казахстан, Эстония), или экстерриториальную – путём национально-культурной автономии. Ответственность за обеспечение статуса и поддержку русского языка должна лежать главным образом на государствах, в которых проживает русскоязычное население, но Россия, как материковая основа русского народа, его языка и культуры, может и должна оказывать покровительство и осуществлять защиту соотечественников в соседних странах. Защита языковых прав и прав меньшинств – одно из международных обязательств России.

Какой позиции следует придерживаться в будущем относительно перспектив русскоязычного населения? Распад СССР поставил этих людей перед выбором одного из трёх вариантов жизненной стратегии: *ассимиляция титульной культурой, принятие её языка; отъезд в Россию; отстаивание равного статуса в новом сообществе*. К сожалению, большинство специалистов и политиков рассматривали только первые два варианта – самые неестественные с точки зрения рационального человеческого выбора и самые труднореализуемые. Именно третий вариант представляется оптимальным для России, для соотечественников и для русского мира в целом. При этом желающие переехать на историческую родину люди должны иметь такую возможность. Для этого существует предложенная президентом страны Программа содействия добровольному переселению соотечественников в Россию. Она, конечно, не даст того притока мигрантов, на который рассчитывали её авторы. В 2007 г. вместо планировавшихся 30 тыс. переехало около 300 человек. Я изначально придерживался того мнения, что на про-

тяжении столетий русские осваивали пространства восточной Украины, Крыма, Северного Казахстана не для того, чтобы сейчас заужать русский мир через так называемую репатриацию. Русский мир больше, чем нынешняя Россия. Так было и так должно быть, а задача специалистов – помогать людям русской культуры и языка сохранять для себя и потомков свои духовные начала и вместе с этим укреплять российское влияние и авторитет в мире.

Русский язык в новых независимых государствах – это наказанный язык. Причём наказанный не за провинности, а за великую модернизационную миссию, которую он выполнял и будет выполнять на территории бывшего СССР ещё десятилетиями. Общими усилиями носителей языка, учёных и политиков ситуация может и должна быть исправлена в пользу “великого и могучего”. Проигравших не будет.

РЕЗОЛЮЦИЯ НАУЧНОЙ СЕССИИ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РАН «РУССКИЙ ЯЗЫК В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ»

Общее собрание Российской академии наук обсудило состояние и перспективы развития академической русистики, положения русского языка в современном мире и отмечает, что исследования в области русского языка и русистики являются одним из приоритетных направлений деятельности Российской академии наук. В докладах научной сессии были продемонстрированы многообразие и эффективность существующих направлений академической русистики, высокий уровень конкретных исследовательских разработок. Учеными-русистами успешно используются как традиционные, классические методы исследований, так и современные компьютерные технологии, применение которых открывает перед филологической наукой принципиально новые возможности.

Нынешний 2007 год – Год русского языка – отмечен рядом крупных достижений академической русистики. Утвержденный в начале года План мероприятий Российской академии наук по Году русского языка в целом успешно выполнен. Велась активная разработка теоретических аспектов русского языка, проводились исследования в области социолингвистики, лексической семантики, выпускались фундаментальные словари, лексические атласы, грамматики, словарно-энциклопедические издания. Продолжалась работа над Национальным корпусом русского языка, электронными базами данных. Выходили в свет очередные тома академических полных собраний сочинений классиков отечественной литературы, подготовленных на основе новых текстологических и эдических принципов, изучались вопросы места и роли русского языка в России, странах ближнего и дальнего зарубежья.

Общее собрание Российской академии наук отмечает, что работы ученых Российской академии наук должны активней учитываться в решении

конкретных вопросов положения русского языка в современном мире, стать необходимыми в разработке системы мероприятий по продвижению русского языка и русской культуры, в формировании позитивного образа носителя русского языка за рубежом, занять важное место в повседневной практике.

*Президент Российской академии наук
академик Ю.С. ОСИПОВ*

*Главный ученый секретарь
Президиума Российской академии наук
академик В.В. КОСТЮК*

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК**

**“Научно-технологический прогноз –
важнейший элемент стратегии
развития России”**

16–17 декабря 2008 года

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА Ю.С. ОСИПОВА

Нынешнюю научную сессию мы начнём с приятного момента. 27 ноября 2008 г., исполнилось 90 лет выдающемуся учёному, выдающемуся общественному и государственному деятелю, человеку, который очень много сделал для развития науки в Советском Союзе, России и на Украине, Борису Евгеньевичу Патону. Юбилейное торжество состоялось в Киеве. На нём присутствовала большая делегация Российской академии наук. Последним аккордом в поздравлениях академика Б.Е. Патона российской общественностью стал Указ Президента Российской Федерации о награждении его орденом “За заслуги перед Отечеством” I степени:

«За выдающийся вклад в развитие мировой науки, укрепление научных и культурных связей между государствами – участниками Содружества Независимых Государств наградить орденом “За заслуги перед Отечеством” I степени Патона Бориса Евгеньевича, президента Национальной академии наук Украины, директора Института электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины, гражданина Украины и члена нашей академии».

Для меня большая честь по поручению Президента Российской Федерации Д.А. Медведева вручить эту награду. Мы ещё раз поздравляем Бориса Евгеньевича.

Уважаемые коллеги! Последние семь лет, начиная с 2000 г., на научных сессиях Общего собрания нашей академии мы рассматривали крупные проблемы социально-экономического, культурного, научного, научно-технологического развития России, проблемы совершенствования образования в стране. Напомню, в 2000 г. темой научной сессии стали “Наноструктуры и нанотехнологии”, в 2003 г. – “Наука о здоровье человека”. (Эта сессия была проведена совместно с Академией медицинских наук при участии всех государственных академий России.) В 2004 г. – “Интеграция науки и образования”. В 2005 г. – “Энергетика России, проблемы и перспективы”. Наконец, в 2007 г. сессия называлась “Русский язык в современном мире”.

Некоторые итоги научных сессий нашли отражение в поручениях президента России, решениях Правительства РФ, ряда министерств и ведомств.

В 2008 г. Президиум Академии наук предложил обсудить на научной сессии Общего собрания вопросы, связанные с прогнозированием научно-

технологического развития страны. Этой сессии предшествовала, в соответствии с поручением Президента Российской Федерации, большая работа по подготовке подобного прогноза на период до 2030 г. Поэтому она так и называется – “Прогноз-2030”. Основной целью подготовки прогноза является выработка научно обоснованных представлений о путях научно-технологического развития страны с учётом актуальных задач, решение которых намечено инновационным сценарием Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации.

В разработке “Прогноза-2030” приняли участие учёные нашей академии, Академии медицинских наук, Академии сельскохозяйственных наук, Академии строительства и архитектуры, а также Российской космической корпорации “Энергия” и Госкорпорации “Росатом”. Хотелось бы подчеркнуть, что исследования такого масштаба за последние более чем 20 лет были инициированы в России впервые.

Наша академия рассматривает проведение прогнозных исследований как один из приоритетов своей деятельности, как продолжение традиций экспертного прогнозирования, заложенных в 1970–1980-х годах выдающимися представителями АН СССР под руководством академика Владимира Александровича Котельникова. Я имею в виду Комплексную программу научно-технического прогресса Советского Союза.

Представляемый доклад “Прогноз-2030” не следует рассматривать как окончательный документ, работа над ним будет продолжаться, его текст – периодически уточняться и корректироваться. Помимо РАН, вариант “Прогноза-2030” подготовлен также Министерством образования и науки при участии других групп исследователей. Важно выработать общую точку зрения, потому что этот документ затрагивает устои нашего государства.

Мы все понимаем, что проблемы научно-технологического прогнозирования являются весьма сложными, многоаспектными, охватывают практически все отрасли экономики. Ясно, что в рамках одной сессии рассмотреть их в полном объёме невозможно. Избрав данную тему для нынешней научной сессии, Президиум РАН предпринял первый шаг в обсуждении вопросов прогнозирования. Мы продолжим эту работу и планируем посвятить специальные заседания прогнозированию научно-технологического развития таких отраслей, как авиация, судостроение и др. Ясно, что подобные обсуждения должны проходить в рамках специализированных отделений либо заседаний Президиума РАН, чтобы полнее учесть специфику соответствующих проблем. Предполагается привлекать к обсуждению представителей промышленности, бизнеса, органов государственного управления. Мы уже подготовили соглашение о сотрудничестве с государственной корпорацией “Ростехнологии”, в рамках которого будут рассматриваться такие вопросы. Подписание этого соглашения должно состояться в январе.

Надо сказать, что прогнозирование требует большой организационной работы, которая иногда Академии наук не под силу. Задача академии – создать научно-методологические основы прогнозных исследований. Собственно прогноз должен разрабатываться научным сообществом под эгидой государства, по нашему мнению, необходимо создать единую систему

государственного прогнозирования, с помощью которой власти могли бы на научной основе определять приоритеты стратегического развития страны.

Нам представляется, что первым шагом в создании такой системы может послужить образование на базе академии межведомственного координационного совета по социально-экономическому и научно-технологическому прогнозированию. С предложением о создании такого совета мы обратились к премьер-министру страны В.В. Путину. В совет должны войти представители как научного сообщества, так и федеральных органов исполнительной власти. В его рамках было бы возможно организовать оперативное прогнозирование развития негативных процессов в период глобального экономического кризиса и разработку мер их преодоления. Отдельные аспекты этой деятельности в Академии наук уже рассматривались, у нас есть несколько групп экономистов, математиков, других специалистов, которые занимаются такими вопросами. Но нужно объединить и скоординировать нашу дальнейшую работу в этом направлении, и я надеюсь, что настоящая научная сессия существенно этому поспособствует.

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Академик А.Д. Некипелов

Успехи в социально-экономическом развитии нашей страны в 1999–2007 гг. позволили перенести центр тяжести с решения острейших текущих проблем на постановку крупных стратегических задач. Долгосрочные перспективы общественного развития стали связываться с кардинальным повышением научно-технологического уровня производства, созданием экономической системы, ориентированной на интенсивное производство новых знаний и их активное применение в производственной деятельности. Были определены цели формирования инновационной экономики, перехода к экономике, основанной на знаниях.

Реализация новых установок требовала определённых изменений государственной политики. С одной стороны, стала очевидной необходимость интенсифицировать усилия, направленные на институциональное совершенствование рыночной системы (развитие конкуренции, наладка под задачи инновационного развития налоговой и тарифной политики и другие подобные меры). С другой – важным пунктом повестки дня явилось проведение активной промышленной политики, нацеленной на технологический прогресс, в том числе с использованием находящихся в распоряжении государства ресурсов.

Решение второй задачи, в свою очередь, требует понимания закономерностей технологического прогресса. Неслучайно президент России поручил Правительству РФ совместно с Российской академией наук подготовить к 1 декабря 2008 г. научно-технологический прогноз развития страны. Правительство приняло решение, обязывающее Министерство образования и

науки РФ, ряд других министерств совместно с РАН провести соответствующую работу. Но Минобрнауки РФ не сочло целесообразным взаимодействовать с Российской академией наук в этом вопросе. О нас “вспомнили” лишь незадолго до наступления срока представления документа Правительству – попросили завизировать материал, подготовленный организациями, которые были избраны министерством (разумеется, “по конкурсу”).

С учётом складывавшейся ситуации летом 2008 г. в академии началась самостоятельная работа по выполнению поручений президента и Правительства. Соответствующий документ был подготовлен и направлен в начале декабря председателю Правительства Российской Федерации. Кстати говоря, именно в ходе этой работы – Ю.С. Осипов уже говорил о том, что в ней принимали участие все отделения РАН, а также наши коллеги из других государственных академий, из Росатома, корпорации “Энергия” – и родилось предложение посвятить настоящую сессию обсуждению проблем научно-технологического прогнозирования. Дело не столько в том, чтобы отчитаться о проделанной работе, сколько в необходимости обсудить комплекс вопросов, без решения которых невозможно сформировать эффективную, действующую на постоянной основе систему научно-технологического прогнозирования в стране. На некоторых из этих вопросов мне и хотелось бы остановиться в первой части своего выступления.

Первое соображение касается наличия органической связи между технологической и социально-экономической сторонами развития. В прогрессе науки и производных от неё нововведениях в хозяйственной жизни есть своя внутренняя логика. Эта логика прямо влияет на параметры экономического роста. В то же время развитие науки как в целом, так и по отдельным направлениям непосредственно связано с объёмом тех ресурсов, которые общество считает возможным выделить на эти цели в тот или иной период времени. Это означает, что технологический прогноз следует увязывать с общим социально-экономическим прогнозом, причём такая увязка должна осуществляться на итеративной основе.

Технологический образ России будущего зависит от избранного сегодня подхода к социально-экономическому и технологическому развитию страны. Иными словами, он прямо связан с принимаемыми в рамках политического процесса установками в отношении желательного в будущем состояния российской экономики и её места в мировой экономике. В некотором смысле это вопрос о лидерских амбициях страны.

Отсюда прямо вытекает, что разработка технологического прогноза – это крупная государственная задача, участие в решении которой должны принимать органы государственной власти, государственные академии наук, наука высшей школы, сектор прикладной науки, предпринимательские союзы. Российская академия наук призвана в первую очередь определять исходя из логики научного прогресса возможные крупные технологические сдвиги на том или ином временном интервале. При этом было бы важно научиться рассчитывать примерные стоимостные оценки объёма средств, необходимых для решения той или иной масштабной технологической задачи.

Второе соображение связано с нетривиальностью учёта в процессе разработки научно-технологического прогноза того обстоятельства, что путь к любой новой технологии пролегает, образно говоря, по территории, где про-

дуктом человеческой деятельности является знание. Причём технологическое знание производно от знаний об общих законах развития материи. Сфера производства знаний, имеющих экономическое значение, оказывается, таким образом, “многоступенчатой”. Она включает в себя фундаментальные исследования, прикладные исследования и разработки.

Производство знаний, как и любого продукта человеческого труда, сопряжено с издержками (затраты рабочей силы, физического капитала, природных ресурсов). Вместе с тем важнейшее отличительное свойство знания как продукта человеческой деятельности состоит в том, что оно не исчезает в процессе его потребления. Именно поэтому экономическая теория определяет знание в качестве одного из видов общественных благ.

Но общественные блага трудно, а иногда просто невозможно превращать в товар. Поэтому возникает проблема с выделением ресурсов на этот вид деятельности: никто не заинтересован в том, чтобы тратить деньги на производство продукта, который окажется в свободном доступе для всех желающих. Экономическая теория обозначает эту проблему как проблему “безбилетника”.

Налицо противоречие между решающим значением новых знаний для развития общества и “экономической невыгодностью” затрат на их получение. В отношении технологического знания это противоречие первоначально ведёт к возникновению института сокрытия нового знания, больше известного как коммерческая тайна, а затем и института авторских прав. Последний, учреждая монопольное право производителей технологического знания на его использование в течение определённого времени, создаёт предпосылки для вовлечения в рыночный оборот продуктов интеллектуальной деятельности.

В отношении же знаний, добываемых фундаментальной наукой, подобного рода институты сформировать не удаётся. В отдельных случаях, связанных с особо крупными затратами, возникают механизмы объединения финансовых, материальных и кадровых ресурсов ряда стран для решения крупной научной задачи. Последний такой пример – создание большого адронного коллайдера. Однако сегодня такого рода решения являются, скорее, исключением, чем правилом.

Известное значение для развития фундаментальных исследований, ориентированных на конкретные результаты, имеет практика их финансирования крупными корпорациями. Но ключевую роль в получении фундаментальных научных знаний во всём мире по-прежнему играют национальные государства или их интеграционные группировки. Здесь, однако, возникает следующий вопрос: что толкает государство на финансирование фундаментальных исследований в условиях, когда можно надеяться на получение уже готовых результатов из других стран (государство как “безбилетник”)? Отчасти – соображения международного престижа, отчасти – тот факт, что фундаментальные научные знания в ряде случаев оказываются результатом, сопутствующим деятельности организаций высшего образования. Однако для стран (или их региональных объединений), принимающих решение о финансировании развития фундаментальной науки по широкому фронту, главным аргументом является возможность сохранить или обеспечить благодаря этому технологическое лидерство.

Важным следствием подобной мотивации – развития фундаментальных исследований по широкому фронту – оказывается необходимость для государства поддерживать на надлежащем уровне прикладную науку и отлаженные механизмы привлечения в хозяйственный оборот нового технологического знания. Важно подчеркнуть, что специализация исключительно на фундаментальных исследованиях лишена экономического смысла.

Между тем в современной России наблюдается глубокое несоответствие и разрыв между различными звеньями цепочки, связывающей фундаментальные исследования с внедрёнными в хозяйственную практику технологиями. Фундаментальная наука в стране изрядно подорвана, но сохранилась в основных своих звеньях и постепенно начинает восстанавливать былую форму. В бедственном положении находится, за редкими исключениями, сектор прикладных исследований, хотя в последнее время здесь наметились некоторые положительные изменения. Технологическая отсталость характерна для значительной части производственного аппарата. Причём как из-за отсутствия необходимых ресурсов, так и в силу институциональной незрелости отечественный производственный сектор ориентирован, в лучшем случае, на импорт зарубежного оборудования и технологий, а зачастую – на тиражирование устаревшей продукции.

В этих условиях стране предстоит сделать важный выбор: в какой степени модернизация российской экономики должна проводиться на основе заимствования технологического опыта других стран, а в какой – на базе собственных научных достижений и разработок. От этого выбора, естественно, будет зависеть как структура, так и основные характеристики российского научно-технологического потенциала в будущем.

С точки зрения уже сформулированных долгосрочных планов оптимальным представляется следующий подход. Необходимо и дальше поддерживать модернизацию потенциала фундаментальных исследований, несмотря на то что в течение известного периода времени его масштаб может казаться избыточным по отношению к другим звеньям цепочки наука–производство. Нельзя забывать, что законсервировать на время потенциал фундаментальной науки невозможно. Надеяться на то, что в “нужный момент” мы сумеем его быстро воссоздать, – означает предаваться недопустимому прекаризу.

Особые усилия следует прилагать для возрождения (разумеется, с учётом реалий рыночной экономики) прикладных исследований. Имеется в виду и создание благоприятных условий для развития частного сектора науки, и прямое участие государства в поддержке существующих и создании новых центров отраслевой науки, в том числе в высшей школе. Актуальным остаётся вопрос об использовании прикладного потенциала академической науки. С сожалением приходится констатировать, что наши соображения на этот счёт в течение целого ряда лет во внимание не принимаются.

Чтобы кардинально изменить положение дел, повысить восприимчивость производственного сектора к нововведениям, необходимо интенсифицировать усилия по созданию требуемых для этого институциональных условий. Безусловно разумным является содействие мерами экономической политики заимствованию частным сектором зарубежных технологий, импорту совре-

менного оборудования, если это не наносит ущерба отечественным производителям, участвующим в реализации инновационной стратегии.

Наконец, промышленную политику следует жёстко ориентировать на совершение рывка в формировании высокотехнологичных производств. Нас не должен смущать тот факт, что продукция многих из них, в силу общего низкого технического уровня отечественной экономики, поначалу может быть ориентирована главным образом на зарубежные рынки. Успешное прохождение экзамена на мировом рынке будет залогом качественного научно-технологического прогресса российской экономики.

Третье соображение, касающееся научно-технологического прогнозирования, относится к сложности проблемы оценки уровня, а следовательно, и измерения прогресса в технологической сфере в целом. Конечно, очень важно знать, какие новые открытия будут сделаны, какие технологические процессы разработаны, какие новые продукты созданы в той или иной исторической перспективе. Но для полноценного прогноза этого недостаточно. Ведь его задача не сводится к составлению подробного списка мало кому понятных технических решений. Главная цель – разобраться в том, как соответствующие достижения способны изменить жизнь людей. Однако трудность состоит в отсутствии меры, позволяющей единообразно представлять технологический уровень различных сфер производства и его динамику во времени. Иными словами, для нас принципиально недоступны оценки вроде: “научно-технологический уровень российской экономики возрастет за рассматриваемый период на 10%”.

Пугаться этого, конечно, не следует. Ведь итогом технологического прогресса по каждому конкретному направлению является сокращение удельных натуральных затрат на производство того или иного товара, а если речь идёт о новом товаре, – то на удовлетворение какой-либо потребности. Мы должны научиться трансформировать список прогнозируемых технологических перемен в новые коэффициенты удельных затрат. Тогда применение межотраслевых моделей позволит получать более или менее ясную картину последствий научно-технологического прогресса, а главное – выбирать его наиболее эффективные направления.

Сегодня мы находимся в начале пути. Проработаны подходы к научно-технологическому прогнозированию, включающие совместную работу представителей естественных и общественных наук. Проинвентаризировано состояние мировой и российской науки с точки зрения уже наметившихся новых технологических решений. Сформировалось определённое представление о перспективах развития мировой фундаментальной науки с учётом необходимости решения крупных социально-экономических и экологических проблем, стоящих перед человечеством. Мы неплохо осведомлены об особенностях глобальной конкуренции в технологической сфере, есть наметки в отношении путей оценки влияния технологического прогресса на состояние российской экономики. Однако остаётся ещё один вопрос, обойти который сегодня просто невозможно: своевременно ли в период резкого обострения текущих проблем, связанного с глобальным финансово-экономическим кризисом, вести неторопливые разговоры об отдалённых перспективах научно-технологического прогресса? На необходимость прямого ответа на него на одном из заседаний Президиума РАН, предшествовавших

Общему собранию, обращал внимание академик Е.М. Примаков. По моему убеждению, ответ на этот вопрос зависит от оценки нынешнего этапа кризиса российской экономики, от оценки его факторов, наконец, от понимания путей выхода из него. Коротко изложу свою позицию по этому поводу.

Как мы помним, всё началось в августе–сентябре 2008 г. с масштабного оттока капитала с фондового рынка. Отток в значительной степени был связан с потребностью иностранных инвесторов в дополнительных долларовых средствах в условиях резкого обострения так называемого ипотечного кризиса на Западе. У нас в стране отток капитала привёл к обострению проблемы ликвидности в банковской системе, а обрушение котировок на фондовом рынке катастрофически усугубило ситуацию с внешней задолженностью частного, в том числе банковского, сектора. Надо сказать, власти приняли оперативные меры по восполнению ликвидности в банковской системе и гарантировали частному сектору рефинансирование его внешних долгов. Благодаря этому удалось спасти от краха банковскую систему и от больших неприятностей многие крупные российские корпорации.

Но вопреки первоначальным ожиданиям деньги не пошли в реальный сектор экономики, финансово-экономическое положение многих предприятий стало ухудшаться, вновь возникла проблема неплатежей, в том числе задолженность по заработной плате.

Возникает вопрос: почему первых оперативно принятых мер оказалось недостаточно? Полагаю, это обусловлено появлением дополнительных негативных импульсов, идущих от мировой экономики к российской. На новом переживаемом нами сейчас этапе решающим фактором развёртывания финансово-экономического кризиса в России стал мощный шок со стороны спроса. Поначалу негативное влияние на совокупный спрос оказывал отток денежных средств из российской экономики. Но в отношении этого фактора, как я говорил, были приняты достаточно оперативные и эффективные меры. В дальнейшем основную роль стало играть снижение доходов наших экспортных производств. Невероятно быстрое падение мировых цен на нефть, неблагоприятная конъюнктура на других сырьевых рынках привели к стремительному распространению волн сужающегося спроса по всей воспроизводственной цепочке. Банки “сидят на деньгах” или, говоря интеллигентно, предпочитают ликвидность не потому, что испытывают некое абстрактное недоверие к своим экономическим партнёрам, а потому, что не видят перспектив сбыта их продукции в нынешних условиях.

Сегодня мы на практике ощущаем, сколь уязвимой по отношению к действию внешних факторов оказалась российская экономика, сколь высока цена того, что поступающие в Россию значительные ресурсы не были своевременно использованы на цели модернизации. Вряд ли у кого-то ещё остаются сомнения относительно необходимости кардинального исправления такого положения дел. Ключевой вопрос, однако, состоит в том, каким образом согласовать краткосрочные и долгосрочные возможности и потребности российской экономики. Думаю, в нынешних условиях очень важно усилить роль государства как прямого источника конечного спроса. С этой целью следует развернуть финансирование крупных программ, ориентированных как на развитие инфраструктуры, так и на техническую модернизацию производства и его реструктуризацию. Деньги должны пойти в научно-производствен-

ный комплекс на стимулирование разработки, производства, экспорта и применения внутри страны высокотехнологичной продукции. Часть валютных резервов следует использовать для импорта современных технологий и оборудования, содействующих выполнению программ модернизации российской экономики.

Мы все знаем, что за истекшие годы топливно-сырьевой сектор в нашей стране превратился в локомотив экономического роста. Именно поэтому столь болезненным оказывается резкое свёртывание исходящего от него внутреннего спроса в условиях изменившейся конъюнктуры мирового рынка. Ясно также, что если бы этот спрос удалось поддержать, наше положение существенно улучшилось. Но есть ли такая возможность? Мне кажется, есть, во всяком случае, если иметь в виду спрос, исходящий от отечественной нефтяной отрасли.

Сопоставление издержек добычи и транспортировки нефти с нынешними мировыми ценами на неё свидетельствует, что и сейчас эта отрасль остаётся чрезвычайно эффективной. Однако, по сути дела, весь эффект достаётся сегодня федеральному бюджету. Такое положение является неоправданным в идейном смысле (государство изымает не ренту и нормальный налог, а фактически всю прибыль) и контрпродуктивным в практическом (подрывается совокупный спрос в экономике). Поэтому, как представляется, чрезвычайно важно в срочном порядке резко сократить объём средств, изымаемых в бюджет из топливно-сырьевого сектора. О шагах в этом направлении уже объявлено председателем Правительства России. Хотелось бы подчеркнуть, что масштаб принимаемых решений должен устанавливаться исходя не из задачи обеспечить для соответствующих производств сведение концов с концами, а из необходимости смягчить шок со стороны спроса для всей нашей экономики, что чрезвычайно важно.

Сложнее обстоит дело с использованием потенциала потребительского спроса. Макроэкономическая эффективность расходов населения существенно снижается в связи с высокой долей импортных товаров в розничном товарообороте. Из этого, конечно, не следует, что надо отказаться от поддержки российских граждан, попавших вследствие кризиса в трудное положение. Правильным является совершенно иной вывод: важной составной частью экономической политики призвано стать содействие экономически обоснованному импортозамещению.

Реализация предлагаемого подхода к экономической политике, вне всякого сомнения, сопряжена с возникновением серьёзного дефицита федерального бюджета. Для его финансирования придётся активно использовать средства резервного фонда. Потребуется также применять механизм внутренних государственных заимствований. В данном случае пристального внимания заслуживает французский опыт: коммерческие банки должны держать часть своих активов в государственных ценных бумагах, но при этом имеют право на получение под их залог кредитов в Центральном банке. Полагаю, что понадобится поставить в определённые рамки свободу ввоза и вывоза капитала, прежде всего краткосрочного. Наконец, полезным как в краткосрочном и в долгосрочном плане было бы сформировать государственную систему интервентирования на фондовом рынке, призванную сделать его менее уязвимым в случае спекулятивных атак.

Политика, нацеленная на стимулирование совокупного спроса, всегда сопряжена с опасностью потери контроля над финансовой стабильностью. У нас при появлении признаков нарастающей инфляции в распоряжении денежных властей остаётся возможность посредством интервенций на валютном рынке проводить стерилизацию избыточной части рублёвой массы.

По большому счёту политике, ориентированной на стимулирование совокупного спроса, сегодня альтернативы нет. Об этом, как мне кажется, свидетельствуют и многие конкретные шаги, предпринимаемые Правительством РФ. Вопрос заключается лишь в том, насколько последовательно и комплексно эта политика будет реализовываться. Опыт 1998 г. показал, к каким печальным последствиям могут в определённых условиях приводить внешне логичные призывы во что бы то ни стало “жить по средствам”. Цепочка “сокращение бюджетных расходов – нарастание взаимных неплатежей и спад производства – свёртывание налоговых поступлений – новое сокращение бюджетных расходов” ещё слишком жива в памяти, чтобы пойти этим же путём.

Именно поэтому я, как, видимо, и большинство моих коллег, убеждён в том, что сложности, которые сегодня переживает наша экономика, буквально подталкивают нас к вступлению на непростой в нынешних условиях, но крайне важный для страны путь технологической модернизации. Если это действительно так, то обсуждение вопросов, связанных с организацией системы технологического прогнозирования, является вполне своевременным.

О ПЕРСПЕКТИВАХ ГЛОБАЛЬНОГО ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

Академик А.А. Дынкин

Десять лет назад в Институте мировой экономики и международных отношений РАН мы возобновили долгосрочные и краткосрочные прогнозные исследования по мировой экономике. Раз в 5 лет публикуем монографии. Последняя работа, вышедшая в 2007 г. “Мировая экономика: прогноз до 2020 г.” переиздана в 2008 г. Потребителями таких прогнозов являются не только государственные учреждения, но и промышленность и регионы. И в этом нам помогает Торгово-промышленная палата.

Одним из важных результатов наших оценок было то, что Россия имеет высокие шансы к 2020 г. стать крупнейшей экономикой Европы и занять по размеру валового внутреннего продукта (ВВП) 5-е место в мире. Этот результат был заложен в качестве целеполагающего в Концепцию долгосрочного развития до 2020 г. Позднее он был повторен во многих авторитетных мировых прогнозах, в том числе в американском прогнозе “Глобальные тренды 2025”

Остановлюсь на четырёх тезисах.

Усиление инновационной динамики мировой экономики. Конечно, кризис, а тем более мировой, – плохое время для прогнозирования. Неопре-

делённости резко возрастают. Тем не менее по наиболее вероятному сценарию нашего прогноза, в посткризисный период темпы роста мировой экономики несколько повысятся. Основными стимуляторами роста выступают два фактора: глобализация и инновации. Если глобализация в большей степени влияет на количественные переменные роста, то инновации – на качественные. Новый этап глобализации, ведущий к частичной смене стран-лидеров этого процесса, вызывает турбулентность. Добавляет неопределённости процессу глобализации и возможный кризисный всплеск протекционизма, несмотря на все заявления стран G20.

С большой долей вероятности можно сказать, что мировая инновационная динамика в результате кризиса ускорится. В пользу этого вывода говорит и история мировых кризисов, и возросшее количество стран – активных инноваторов, и нарастание глобальных и национальных проблем, решение которых опирается на инновации, и даже практические антикризисные меры. В американском законе TARP, больше известном как план Полсона, все обращают внимание на финансовые аспекты или на ограничение доходов топ-менеджмента. Однако это лишь часть плана, а примерно половина его статей касается стимулирования наукоёмких секторов, энергосберегающих технологий. Законодательно увеличены и продлены налоговые льготы для инвестиций в НИОКР, в альтернативные источники, в эффективное потребление энергии. Это своего рода “дорожная карта” структурных государственных приоритетов для инвесторов и домашних хозяйств. Кризисы приходят и уходят, а это останется. Аналогичные антикризисные меры есть и в Еврозоне, и в Китае, и в Бразилии, они ориентированы на активизацию здоровых источников роста.

Предкризисная структура мировой экономики базировалась на трёх секторах: хайтек, финансы, энергетика. Это, можно сказать, несущий каркас. Даже в этот период, несмотря на всю перекапитализированность финансов и энергетике, хайтек оставался на первом месте. Это довольно неожиданный результат. Финансовая сфера, инновации в которой обрушили мировые рынки, очевидно, стала жертвой кризиса. В ней исчезает целый сегмент. Скорее всего, капиталы уйдут в хайтек и другие отрасли. Менее понятна судьба энергетике. Инвестиции в её эффективность, конечно, повысятся, следовательно, возрастёт её инновационность. Но ещё недавно популярный тезис “о конце эпохи дешёвой нефти” сегодня подвергается серьёзным испытаниям.

Относительно развитой части мира рискну высказать гипотезу о том, что энергосберегающие технологии начинают давать результаты, фиксируемые национальной статистикой. Рыночная капитализация состоит из трёх крупных частей: физических активов, интеллектуальных, или нематериальных, активов и инвестиционных ожиданий. Лопнувший финансовый пузырь создавал плохо мотивированную реальной добавленной стоимостью так называемую “рыночную премию”. Она опиралась на ожидания инвесторов и практически неограниченное предложение капитала за счёт пирамиды деривативов.

Национальное и глобальное регулирование, вероятно, ограничит масштабы нерациональных ожиданий. Однако инвестиции в нематериальные активы (исследования, разработки, патенты, лицензии, квалификация, софт и др.), сравнявшиеся по размеру с инвестициями в физические активы,



Рис. 1. Инвестиции в материальные и нематериальные активы США (1959–2007).

не будут испытывать серьёзных ограничений. В пользу этого свидетельствуют доступные для анализа бизнес-стратегии, оценки рейтинговых агентств. Объявлено, что бюджетные расходы на НИОКР в США в 2009 г. вырастут на 3.4% в неизменных ценах (рис. 1). И это в условиях рецессии.

Экономический анализ требует рассмотрения фундаментальных факторов как со стороны общественного спроса, так и со стороны технологического предложения в инновационной сфере, а также учёта их сбалансированности. Конечно, будущие инновации плохо квантифицируемы, именно поэтому-то и нужны прогнозы.

Наиболее сильный и универсальный спрос складывается сегодня в информационно-коммуникационной сфере мировой экономики (25% роста ВВП и 40% роста производительности труда – в странах ЕС). Двумя другими сферами, предъявляющими очевидную платёжеспособность, становятся энергосбережение, экология, климат и здравоохранение. На стороне технологического предложения – важнейшие перспективные тренды: глобальные телекоммуникационные сети для персонального пользователя (NGN-бесшовная конвергенция фиксированных и мобильных технологий; пакет quadra play; высокоскоростные магистрали плюс малые сети с “тяжёлым” контентом). На пороге практического использования находятся новые конвергентные технологии – NBIC. Подтверждением идущих процессов конвергенции могут служить фиксируемая нами статистика финансирования новых государственных программ, патентные показатели, рост технологических альянсов и сетей в областях конвергентных технологий, диверсификация компаний. Например, информационно-коммуникационные компании развивают аутсорсинг с биотехнологическим бизнесом. Об этом же говорят потоки венчурного капитала, перестройка университетских учебных курсов, создание научно-промышленных кластеров. Библиометрическое интернет-сканирование свидетельствует о том, что за последние 10 лет резко возросло число публикаций в сферах “пересечения” областей конвергентных технологий.

Активно развивающаяся в текущем десятилетии концепция открытых инноваций связана в том числе и с конвергенцией. В последнее время у нас

возлагаются большие надежды на малый инновационный бизнес. Он действительно эффективен в решении локальных задач. Но продукты на глобальные рынки выводят крупные корпорации, которые выступают системными интеграторами, контролируют сбытовые каналы и, что очень важно, технологические платформы и стандарты. Они агрессивно используют преимущества малых компаний с помощью системного аутсорсинга или открытых инноваций. Поэтому наш акцент только на малый бизнес, возможно, приведёт к его встраиванию в чужие технологические и инновационные цепочки. Нужны отечественные системные интеграторы.

Среди важнейших перспективных трендов, конечно, нанотехнологии. На этой теме не стану останавливаться, тем более, что будет выступать академик Ж.И. Алфёров. И, наконец, биоэкономика. Она приходит на смену идее “информационной экономики” как образа наиболее важных технологических изменений. Эта метафора используется практически во всех технологических прогнозах. Под этим понимается кластер технологических платформ, дружественных по отношению к окружающей среде и человеку. Но одновременно возникают сложные социально-этические проблемы, связанные, в частности, с использованием генетической информации. Если всё это так, то возможен цивилизационный перелом, связанный и с моральными нормами (биотика), и с рациональным ограничением потребностей. Но это относительно далёкое будущее.

Инновационный вызов развивающегося мира: Китай. На рисунке 2 видно, что национальные инновационные системы развитых стран находятся в равновесном и сбалансированном состоянии. Скажем, по странам ЕС-15 расходы на НИОКР устойчиво держатся в режиме 1.75% к ВВП. Хуже обстоит дело у нас. В 2004 г. удельный показатель расходов на науку в Китае обогнал наши показатели. То есть, несмотря на то что китайская экономика самая быстрорастущая, расходы на НИОКР в этой стране превышали даже сверхвысокие темпы роста ВВП. И результаты достаточно быстро проявились. Китай лидирует в экспорте информационно-коммуникационных технологий, опережая США. Конечно, пока экспортируется “железо”, интегральные схемы для оборудования закупаются за рубежом. Здесь видна тесная корреляция между импортом и экспортом. Но центры системной интеграции и, соответственно, получения технологической ренты находятся пока за пределами страны.

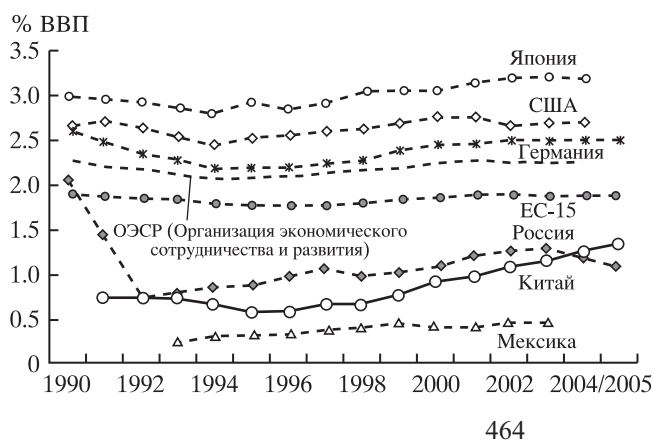


Рис. 2. Инвестиции в будущее: динамика расходов на НИОКР (1990–2005)

По официальным китайским прогнозам, отставание от мирового технологического уровня – 5 лет. Реально, наверное, раза в два больше, но в любом случае их успехи очевидны. В Индии также всё происходит очень динамично.

Активизация прогнозной деятельности. После 2005 г. наблюдается взрыв мировых научно-технических прогнозов. Сегодня их делают и Малайзия, и Турция, и даже Дания. Они встраиваются в системы стратегического планирования и программирования государством и бизнесом. В ИМЭМО мы поддерживаем базу данных по основным зарубежным прогнозам, их там порядка 75. Методические подходы прогнозирования постоянно развиваются (традиционный Дельфи, Форсайт, Интернет-сканирование, патентные кластеры и т.п.). Однако все технологические прогнозы сфокусированы на трёх темах: оценке вероятности и масштабах рыночного успеха; вероятности технологического успеха; выявлении институциональных ограничений, мешающих достижению первых двух параметров. Подавляющее большинство прогнозов говорит об усилении инновационной активности. “Во время нынешнего кризиса произойдёт инновационный скачок. В кризисные моменты всегда совершаются великие открытия” – такая оценка Билла Гейтса, сделанная им в октябре 2008 г., отнюдь не безосновательна.

Технологическое прогнозирование имеет как минимум вековую историю. В начале XX в. Франция была лидером в этой области, там это важная часть национальной культуры. Возвращаясь к современным прогнозам, касающимся финансового обеспечения мировой науки в 2020 г., можно констатировать: Европа и Северная Америка уступят первенство Азии в финансировании мировой науки.

Выводы для России. При умеренно оптимистическом сценарии инновационного развития к 2020 г. мы выйдем на уровень Старой Европы – ЕС-15, но будем уступать уже не только Японии и США, но и Китаю и Индии (рис. 3). На пессимистический лад настраивает драматический, на мой взгляд, разрыв между намерениями, официально заявленными в “Стратегии развития науки и инноваций в Российской Федерации на период до 2015 года”, утверждённой 15 февраля 2006 г., и реальностью. Согласно этому документу расходы на инновационное развитие (ИР) должны увеличиться до 2.5% ВВП, а внебюджетные расходы – до 70% национальных расходов на ИР. В действительности соотношение ИР/ВВП в 1990-х годах существенно снизилось и находится в стагнации в 2000-х; доля затрат предпринимательского сектора в национальных расходах снижается. В Стратегии намечено увеличение числа инновационно активных предприятий. На самом деле все показатели инновационной активности промышленности ниже, чем в развитых странах, и не растут. Доля высокотехнологичной продукции в импорте низкая и продолжает снижаться. Показатели патентной активности ниже, чем в развитых и новых индустриальных странах. Одна из целей, намеченных в документе, – реформирование и придание инновационной направленности научно-исследовательскому сектору. На деле некоторое повышение зарплат в 2007–2008 гг. не компенсировало потерь 90-х годов и не обеспечивает привлекательность научной деятельности для молодёжи. Средний возраст научных сотрудников возрастает. Научные работники государственных институтов не имеют стимулов к инновационной деятельности. По оценке ИМЭМО,

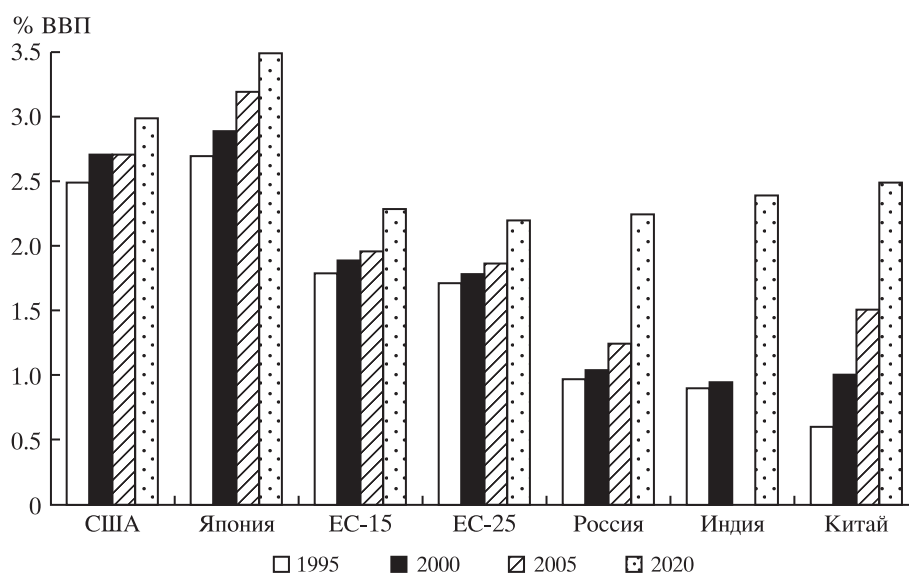


Рис. 3. Прогноз финансового обеспечения науки ведущих стран и регионов мира: расходы на НИОКР

уровень производительности труда на одного занятого в российской экономике по паритетам покупательной способности составляет 27% от такового уровня в США и 42% – в Германии и Японии. Это означает, что по эффективности наша экономика находится примерно на уровне западноевропейских стран конца 1960-х годов и Южной Кореи начала 1990-х. Более того, на этом общем, усреднённом фоне эффективность даже самых успешных российских компаний характеризуется ещё более низкими показателями.

При всей несомненной важности прогнозов, они “сырьё” для формирования сценариев и стратегий. С учётом наших и мировых тенденций можно предложить четыре сценария инновационного развития России. Инерционный пессимистический: инновационная апатия; потеря конкурентоспособности; угрозы для обороноспособности и безопасности. Инерционный оптимистический: технологическая модернизация на базе заимствования; импортозамещение; продолжение активной господдержки науки. Умеренно оптимистический: нишевые инновации; центры превосходства; инновации крупного, в том числе энергетического, бизнеса. Оптимистический: создание кластеров хайтека; инновации по широкому спектру отраслей; массовый экспорт наукоёмкой продукции.

Теперь о стратегиях. В Концепции долгосрочного развития до 2020 г. выбран инновационный путь. Это важное заявление, отражающее консенсус элит относительно важнейшей цели развития, и его нужно сохранять и развивать даже в условиях кризиса. Однако в Концепции очевиден акцент на том, что делать, необходим следующий шаг – как делать, то есть определение инновационных стратегий. Мировой и наш собственный опыт дают четыре базовых подхода. Первый – стратегия передовых рубежей – дорогостоящий и очень затратный по времени, возможно его сфокусированное,

нишевое использование. Второй – заимствование. В XX в. заимствование технологий проходило в Японии и Южной Корее, сегодня – в Китае. У нас есть отраслевой сегмент, растущий уже много лет двузначными темпами, без рубля госвложений, на основе конкуренции и сильного потребительского спроса, – это мобильная связь. Похожие процессы наблюдаются и в металлургии. Третий подход – локализация. Четвёртый – двойные инновации оборонно-промышленного комплекса одновременно в военных и коммерческих целях. Классический пример – GPS – система глобального позиционирования. Ещё в 2004 г. рынок приёмников превысил 15 млрд долл., тем самым компенсировались расходы на поддержание орбитальной группировки, был создан своего рода мультипликатор бюджетных и рыночных ресурсов.

В любом случае нам пора определяться. Дискуссия о том, что первично – институты или технологии, мне кажется искусственной, похожей на дилемму курицы и яйца. По-видимому, для выбора инновационной стратегии, её реализации и мониторинга, в том числе в госкорпорациях, необходимо административное звено выше министерского уровня. Возможно, новый вариант ГКНТ. Но это задача юристов.

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ ДО 2030 ГОДА

Академик А.А. Макаров

На основе анализа современных тенденций и прогнозов развития антропогенной энергетики и конъюнктуры мировых рынков топлива разработанная Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. (подробнее см.: Вестник РАН. 2009. № 4). В её рамках сформулированы мировые тенденции технологического прогресса в энергетике, их обусловленность достижениями других областей знаний и особенности проявления научно-технического прогресса в энергетике России. При этом горизонт прогнозирования был расширен до 2050 г., видение которого требуется в энергетике (как одной из самых инерционных сфер человеческой деятельности) для своевременной подготовки фундаментального научного задела по всему фронту наращивания знаний. Это и является задачей Российской академии наук.

Инновации в энергетике имеют ярко выраженный интернациональный характер и глобальные тренды. Рассмотрим их на основе последнего технологического прогноза Международного энергетического агентства (МЭА) [1] – центра прогнозирования развития мировой энергетики и обеспечения энергетической безопасности 29 развитых стран, входящих в Организацию экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), а затем обсудим особенности инновационного развития энергетики России и способы отображения их в энергетической политике страны.

Научно-технологический прогресс (НТП) в энергетике ассимилирует достижения и является одним из важнейших каналов реализации результатов



Рис. 1. Схема, демонстрирующая вклад различных научных дисциплин в развитие самой энергетики, её ресурсной базы и процессов управления, а также в требования, предъявляемые обществом к энергетике

практически всех наук, которые и создают базовые условия (предпосылки) для инновационного развития энергетической основы человечества. На рисунке 1 многообразие областей человеческих знаний, вносящих свой вклад в энергетику, условно представлено принятым в Российской академии наук составом отделений по направлениям наук. Достижения одних научных дисциплин (экономика и науки о Земле) влияют на требования общества к развитию энергетики, других (геология, биология, физика) – определяют доступные энергоресурсы, третьих (физика, химия, механика) – создают предпосылки для энергетических инноваций, четвёртых (математика, информационные технологии, процессы управления) – обеспечивают управляемость разрабатываемых энергетических технологий и энергосистем.

Требование *роста благосостояния общества* во многом определяет динамику энергетики. В базовом сценарии МЭА [1] спрос на энергию с 2005 по 2030 г. увеличится более чем в полтора раза и почти удвоится к 2050 г. (рис. 2). И хотя мировой финансово-экономический кризис явно понизит эти прогнозные величины, такой тренд роста энергопотребления заведомо тупиковый.

Действительно, за первые три четверти XX столетия среднее по миру потребление энергии на душу населения выросло в 2.5 раза, а после нефтяного кризиса конца 1970-х годов возникла обнадеживающая тенденция стабилизации душевого потребления (см. вставку на рис. 2). Но буквально за последние годы душевое энергопотребление по миру в целом опять быстро выросло, и восходящая тенденция продолжается в базовом прогнозе МЭА. Сохранение душевого потребления на среднем уровне конца прошлого века (гипотетический сценарий на рис. 2) уменьшило бы прирост спроса на энергию втрое, что, наверное, утопично. Однако представляется достаточно реалистичным (с учётом необходимого повышения благосостояния и

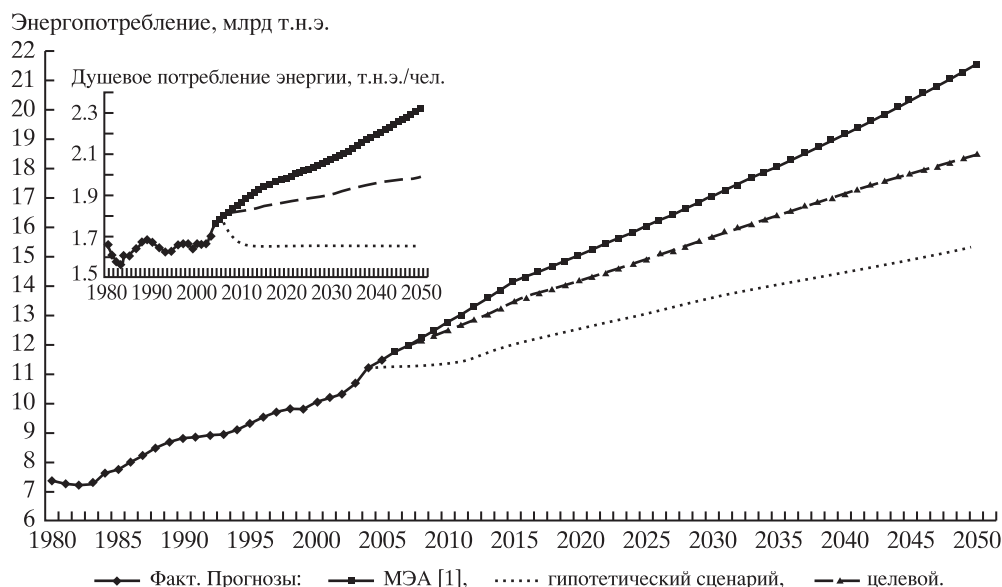


Рис. 2. Прогноз энергопотребления и душевого потребления энергии

энергообеспеченности населения развивающихся стран) целевой сценарий (см. рис. 2) с двойным замедлением роста душевого энергопотребления. Это потребует снижения потребительских устремлений так называемого золотого миллиарда в развитых странах и замедления роста потребностей в развивающихся странах.

От общественных наук мы ждём предложений об экономических и социальных мерах по уходу от потребительской парадигмы развития общества, но без существенной потери напряжённости и продуктивности деятельности людей. Последние поощряются доступностью потребительских кредитов и жёстко наказываются, если кредиты вовремя не возвращаются. Уход от потребительской парадигмы замедлил бы рост энергопотребления примерно в полтора раза, облегчив нагрузку на энергетику и окружающую среду.

Требование *экологической безопасности* на планете определяет не только динамику, но и структуру энергетики. Действительно, по базовому сценарию МЭА, с 2005 по 2050 г. порождаемая энергетикой эмиссия парниковых газов вырастет от 28 до 62 млрд т CO_2 при этом температура Земли повысится на 6 °С по сравнению с сегодняшним уровнем. Согласно такому сценарию, развитие мировой энергетики потребует 65 трлн долл. до 2050 г. Для уменьшения эмиссии в 2050 г. более чем вдвое и возвращения к уровню 2005 г. необходимы дополнительно 17 трлн долл. капиталовложений, а для её сокращения ещё наполовину (до 14 млрд т CO_2 , что, по существующим оценкам, стабилизирует климат планеты) нужны почти вдвое большие капиталовложения.

Очень важно, чтобы науки о Земле, в части климатологии и физики атмосферы, определились с реальностью угрозы климату от эмиссии парниковых газов и при необходимости выработали эффективное противодействие, включая научные основы и методы геоинженерии. В противном случае, по

расчётам МЭА, сохранение климата путём снижения эмиссии парниковых газов почти удвоит капиталовложения в энергетику – с 65 до 115 трлн долл.

Что касается проблемы *доступных энергоресурсов*, то человечество обеспечено ими на века. Современный ежегодный расход природных энергоресурсов составляет 0.0005 от ресурсов органического топлива (нефти, газа и угля, вместе взятых) или 0.0003 от ресурсов урана. Однако запасы всех этих исчерпаемых энергоресурсов не достигают и пятой части *годового потока* солнечной энергии на Землю, который порождает энергию ветра, гидроэнергию и энергию фотосинтеза. А ведь имеется ещё и огромная геотермальная энергия Земли, крупномасштабное освоение которой только начинается. Раньше или позже технологический прогресс в энергетике сделает и эти ресурсы доступными, а пока реальная проблема состоит в исчерпании *экономически приемлемых ресурсов* нефти и газа. За 150 лет статистических наблюдений из недр извлечено 33% экономически доступной части разведанных запасов нефти, 14% – газа и 9% – урана, но только 4% – углей. Доступность эффективных ресурсов углеводородов действительно станет определять развитие антропогенной энергетики в ближайшие десятилетия.

От наук о Земле, в части геологии, нужны новые методы разведки и освоения месторождений углеводородов на суше и шельфе (включая подлёдную добычу), которые позволили бы увеличить их экономически приемлемые запасы в 1.7 раза к 2030 г. и в 3 раза к 2050 г. Без этого рост добычи нефти остановится и перейдёт в падение через 10–15 лет, а газа – через 20–25 лет, что резко повысит требования к технологической перестройке энергетики и, вероятно, замедлит развитие мировой экономики. Особую проблему составляет промышленное освоение газогидратов, ресурсы которых в зонах вечной мерзлоты и на морском глубоководье на порядок больше ресурсов природного газа.

В предстоящий период способствовать ресурсообеспечению энергетики могут и биологические науки, если создадут способы получения дешёвой биомассы.

Новые энергетические технологии на период до 2050 г. подробно описаны и систематизированы МЭА [1] по результатам двухлетних исследований, которые проводили почти 2 тыс. специалистов из стран ОЭСР (других не приглашали). По целям, масштабу и методологии эти исследования близки к энергетическому разделу разработанной в 1980-е годы под руководством сначала академика В.А. Котельникова и затем академика А.И. Анчишкина Комплексной программы научно-технического прогресса СССР. Работу эту, конечно же, нужно возобновить в России на новом уровне знаний и методологии.

Приоритетными МЭА назвало 8 классов ключевых технологий производства энергии в составе более 120 новых технологий и 9 классов (почти 170 новых технологий) использования энергии. Для каждого класса технологий подготовлены достаточно подробные “дорожные карты” их включения в инновационную энергетику со сроками и объёмами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, размерами использования и требуемыми на это капиталовложениями.

В таблице 1 приведены выделенные классы ключевых технологий и необходимые для их реализации затраты только на исследования и опытно-

Таблица 1

**Затраты на исследования и разработки по основным классам
ключевых технологий в энергетике, трлн долл. США 2007 г.**

Ключевые технологии в энергетике	Исследования и разработки	
	1	2
Производство электроэнергии	3.2–3.8	3.9–4.5
атомные электростанции	0.6–0.75	0.6–0.75
ветровые электростанции	0.6–0.7	0.6–0.7
угольные установки с суперсверхкритическими параметрами пара	0.35–0.4	0.35–0.4
парогазовые электростанции с внутрицикловой газификацией угля	0.35–0.4	0.35–0.4
парогазовые электростанции с газификацией биомассы	0.1–0.13	0.1–0.13
преобразователи солнечной энергии в электрическую	0.2–0.24	0.2–0.24
концентраторы солнечной энергии	0.3–0.35	0.3–0.35
улавливание и захоронение CO ₂ на тепловых электростанциях	0.7–0.8	1.3–1.5
Сооружения, здания	0.32–0.42	0.3–0.42
энергоэффективные здания в бытовые приборы	н/д	н/д
тепловые насосы	0.07–0.12	0.07–0.12
солнечное отопление и нагрев воды	0.25–0.3	0.25–0.3
Транспорт	0.26–0.3	7.6–9.2
энергоэффективные транспортные средства	н/д	н/д
биотопливо второго поколения	0.09–0.12	0.09–0.12
электрический и подключаемый к сети транспорт	0.17–0.2	4–4.6
транспорт на водородных топливных элементах	н/д	н/д
Промышленность	0.7–0.9	1.4–1.7
улавливание и захоронение CO ₂ в промышленности, производство водорода, синтетического топлива	0.7–0.9	1.4–1.7
энергоэффективные промышленные двигатели	н/д	н/д
Итого	4.5–5.4	13.2–15.8
<p><i>Примечание:</i> 1 – сокращение эмиссии парниковых газов в 2050 г. до уровня 2005 г. (28 млн т эквивалента CO₂); 2 – сокращение эмиссии парниковых газов в 2050 г. до безопасного уровня (14 млн т эквивалента CO₂).</p> <p>Источник: [2].</p>		

конструкторские разработки. Для возвращения эмиссии парниковых газов к уровню 2005 г. в период до 2050 г. потребуется от 4.5 до 5.5 трлн долл. преимущественно на создание технологий производства электроэнергии. Сокращение же эмиссии ещё вдвое для стабилизации климата планеты утроит эти затраты, причём рост почти целиком связан с транспортными технологиями.

“Парниковая угроза” сулит мировому сообществу расходы в 15 трлн долл., что почти вдвое больше затрат на исследования и разработки в военных целях (в случае сохранения их текущих годовых объёмов). Неудивительно, что такие приманки встречают горячий отклик в определённых кругах.

В прогнозе МЭА сделан вывод, что технологии, уже доведённые до стадии опытно-промышленной проверки, способны решить стоящие перед энергетикой задачи, как минимум, до 2030 г. Казалось бы, проблема инновационного развития энергетики на данном этапе решена. Но следует обратить внимание на то, что предложенный МЭА технологический пакет целиком ориентирован на конъюнктуру западных энергетических рынков, причём две трети технологий (по стоимости) направлены на агрессивное снижение эмиссии парниковых газов. Как будет показано ниже, приоритеты и, главное, технико-экономические характеристики технологий МЭА не рациональны для энергетики России. В этой связи необходимо хотя бы кратко рассмотреть *критерии и методы определения приоритетных направлений НТП* в энергетике.

Энергетика представляет собой ярко выраженную междисциплинарную науку. Она формирует новые знания о методах преобразования энергии, создаёт новые средства для таких преобразований путём интеграции достижений практически всех других областей знаний, исследует закономерности развития антропогенной энергетики в целом.

Нарастающий поток возможных энергетических технологий формируется на базе фундаментальных заделов физики, химии, а теперь и биологии такими физико-техническими дисциплинами, как электрофизика и электротехника, теплофизика и теплотехника, гидравлика и гидротехника, атомная физика и техника. В этом существе исследований и основа технологического прогресса в энергетике. По грубым оценкам, на разработку энергетических технологий приходится до 70% исследований в области энергетики.

Назовём отнюдь не полный список многообещающих технологических возможностей. На достижениях физики базируются фотоэлементы третьего поколения с КПД до 40–60%, которые обеспечат широкое использование солнечной энергии; суперконденсаторы высокой ёмкости и сверхпроводящие материалы, обещающие революционные изменения в накоплении и передаче электроэнергии, а также массовую электрификацию транспорта и замену нефте топлива; быстрые реакторы с замкнутым топливным циклом, способные сделать атомную энергетику воспроизводимой по ядерному горючему при высоких темпах развития. Опытно-промышленное освоение термоядерной энергии, особенно с прямым преобразованием радиационной энергии в электрическую, откроет перспективу устранения проблемы ограниченности энергоресурсов.

Успехи химии и наук о материалах сделали возможным получение жидкого топлива из газа, угля, сланцев и особенно из биомассы, а также разработку методов и средств прямого преобразования химической энергии в электрическую. Использование электроэнергии, как известно, началось с гальванических элементов, сейчас мощность химических аккумуляторов превышает мощность всех электростанций Земли, а впереди – развитие топливных элементов для транспорта и распределённой энергетики. Понятно, что материализовать физические явления и химические процессы невозможно без материаловедения и машиностроения.

Биология и химия обеспечивают научную основу для конверсии биомассы разных видов в высококачественное жидкое и газовое топливо с помощью ферментации, создания новых видов целлюлозосодержащих культур

повышенной продуктивности, не конкурирующих с пищевыми культурами, и других технологий биоэнергетики.

Из числа возможных технологий энергетическая наука отбирает эффективные. Отбор ведётся по критериям экономической эффективности (вклад общественных наук) и экологической приемлемости (вклад наук о Земле) с учётом всех аспектов надёжности и управляемости технологий – их обеспечивают достижения математики, информационных технологий и процессов управления. Выбору эффективных технологий посвящено 10–15% энергетических исследований. Казалось бы, они и определяют приоритеты НТП в энергетике. Но, во-первых, названные критерии выбора эффективных технологий весьма неоднозначны и противоречивы: чем надёжнее и “экологичнее” технологии, тем они дороже. Во-вторых, энергетические технологии обычно работают не изолированно, а в комплексах или системах, где сумма локальных оптимумов по определению не соответствует глобальному. Поэтому важным направлением энергетической науки является исследование и конструирование энергетических систем, на что приходится ещё 10–15% её усилий.

Системные исследования в энергетике на базе математического моделирования и ЭВМ широко развернулись с 1960-х годов, и советская школа академика Л.А. Мелентьева занимала в то время лидирующие позиции в мире. Однако неопределённость будущего так велика, а научно-технологический процесс настолько спонтанен, что и методология этой школы не обеспечивает достаточно надёжного предвидения инноваций. Поэтому для определения эффективных направлений и приоритетов научно-технологического прогресса приходится привлекать исследования тенденций эволюции пространственного и производственного развития энергетики, то есть квинтэссенцию того, “как это было на самом деле” в прошлом. На это направлено до 5% энергетических исследований.

Пространственное развитие энергетики предусматривает создание межстрановых, трансконтинентальных и глобальных систем. Они имеют мощную физико-техническую основу в виде трубопроводных и электрических сетей и одновременно выступают как всё более сложные производственные системы, а теперь – и как энергетические рынки. Сформированную в 1980–1990 гг. глобальную нефтяную систему в ближайшие 10–15 лет дополнит (и интегрируется с ней) глобальная система газоснабжения (в [2, 3] приведены результаты наших исследований возможной конфигурации её ядра – Евразийской газоснабжающей системы – в период до 2030 г.). Позднее, вероятно, после 2030 г., для широкого использования космической и термоядерной энергетики потребуются глобальная интеграция региональных электроэнергетических систем.

Эффективная *технологическая и производственная структура* энергетики гармонизирует все стадии и технологии преобразования энергии – от её источников в природной среде (первичная энергия) до использования потребителями (конечная энергия). На рисунке 3 показаны основные потоки преобразования энергии (и возникающие при этом потери), в действительности они на порядки более многообразны и быстро усложняются во времени. С середины XX столетия в большинстве промышленных стран и в мире в целом конечная энергия составляет 37–39% от первичной, что даже меньше

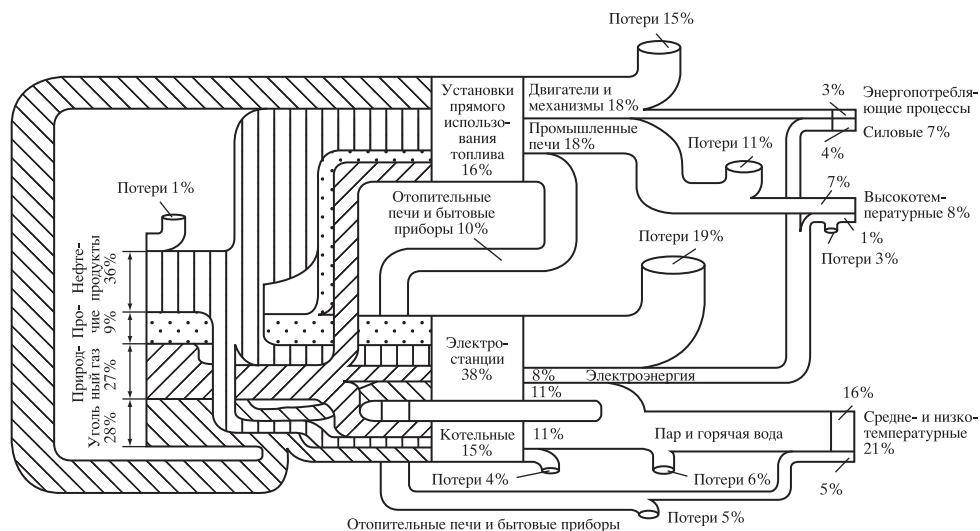


Рис. 3. Производственно-технологическая структура энергетики
Показаны основные потоки преобразования первичной энергии и возникающие при этом потери

коэффициента использования энергии первобытного костра в пещере. Этот парадокс получил объяснение как результат действия разнонаправленных тенденций, главная из которых – быстрый рост разнообразия конечного потребления и перестройка его структуры в пользу энергии всё более высокой ценности.

Ценность энергии можно измерить, умножив плотность потока энергии на управляемость – величину, обратную среднеквадратичному отклонению фактического режима энергетического процесса от целевого. В течение прошлого века ценность используемой человеком энергии увеличилась на 15 порядков (рис. 4) – с 10^5 – 10^7 Вт/м² в его начале (упряжка лошадей, водяное колесо, сталеплавильная печь) до 10^{20} – 10^{24} Вт/м² в конце века (ядерная бомба, лазер, транзистор в интегральной схеме) (табл. 2).

Как известно, чем выше ценность энергии, тем ниже КПД её получения. Знание этой тенденции позволяет ставить целью достижение к середине XXI в. не менее чем 50%-ного общего коэффициента использования энергии – основного индикатора НТП в энергетике. Соответственно поставленной цели необходимо строить и технологическую политику, для чего нужно предвидеть возможные направления изменения структуры конечного энергопотребления. Если допустить прогнозируемый МЭА двойной рост мировой энергетики с 2005 по 2050 г., то доля электроэнергии в обеспечении конечной энергии увеличится по сложившимся тенденциям с 25 до 33% при уменьшении доли прямого сжигания топлива (в сумме печного и моторного) с 69 до 63% и тепла (пар, горячая вода) с 6 до 4% (табл. 3).

В соответствии с “водородной инициативой Буша”, США, Евросоюз и Япония намечают переход с традиционной углеводородной энергетики на водородную энергетику. Однако, по оптимистическим оценкам, водород обеспечит не более 10% конечного потребления, для чего потребуются создание

Рис. 4. Динамика максимальных значений ценности энергии по основным энергетическим процессам

1 – водяное колесо, 2 – плавка металлов, 3 – паровая машина, 4 – электрогенератор, 5 – двигатель внутреннего сгорания, 6 – ядерная бомба, 7 – элементы микроэлектроники

инфраструктуры по производству, транспортировке, хранению и распределению (до автозаправок) около 3 трлн м³ этого сверхлетучего и взрывоопасного газа (для сравнения: ныне в мире добывается почти в полтора раза меньше природного газа). При этом доля электроэнергии в конечном энергопотреблении не изменится, а доля топлива (в основном жидкого) уменьшится до 55% и тепла – до 3%. Но даже при широком замещении нынешнего электролиза воды термохимическими технологиями получения водорода его использование потребует большого расхода электроэнергии. Между тем нефтетопливо

Ценность энергии, Вт/м²

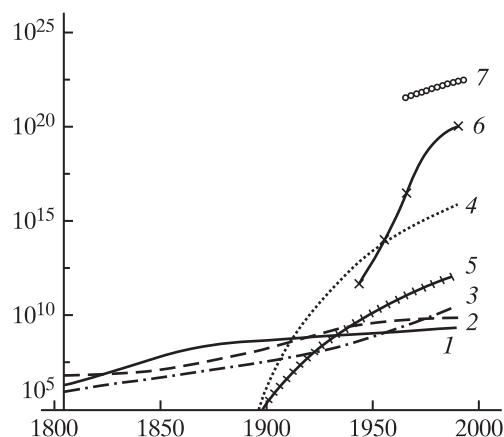


Таблица 2

Управляемость и ценность энергии для некоторых энергетических преобразователей

Энергетический преобразователь	Управляемость, 10 ⁿ	Плотность потока энергии, 10 ⁿ Вт/м ²	Ценность энергии, 10 ⁿ Вт/м ²
Человек			
как механический привод	1	2–3	3–4
операции режуще-колющим инструментом	2–3	8	10–11
Парус	< 1	1–2	2–3
Упряжка лошадей	1	2–4	3–5
Водяное колесо	2–3	3–4	5–7
Бытовая газовая плита	2	4	6
Центральное отопление	2	3	5
Печь для плавки стали	2	5–7	7–9
Паровая машина	2–3	5–6	7–9
бомба	< 1	11	11–12
огнестрельное оружие	4	12	16
Двигатель внутреннего сгорания	2–3	7–8	9–11
Газовая турбина	3–4	9	12–13
Электрогенератор	3–4	7–8	10–12
Высоковольтные электропередачи	4	7–11	11–15
Атомный реактор	6–7	6–7	12–14
Термоядерная бомба	1–2	15–18	16–20
Лазер	4–10	18–14	20–24
Транзистор в интегральной схеме	16–18	4–6	20–24
Реплика ДНК в клетке	15–18	3	18–21

Источник: Макаров А.А. Мировая энергетика и Евразийское энергетическое пространство. М.: Энергоатомиздат, 1998.

Таблица 3

Сценарии конечного энергопотребления, ТВт · год %

Энергоресурсы	2005 г.*		2050 г.**					
			1		2		3	
Электроэнергия	748	25.3	1927	32.9	1937	33.1	2994	51.2
Водород	0	0.0	49	0.8	528	9.0	21	0.4
Моторное топливо	498	16.8	1057	18.1	775	13.2	634	10.8
Печное топливо	1554	52.4	2623	44.8	2436	41.6	2119	36.2
Пар, горячая вода	163	5.5	197	3.4	176	3.0	85	1.4
Всего	2963	100	5853	100	5853	100	5853	100

* Рассчитано по: Energy Balances of Non-OECD Countries 2004–2005. International Energy Agency. Paris, 2006.

** Сценарии автора: 1 – традиционный, 2 – водородной энергетики, 3 – электрический мир.

водород будет замещать в топливных элементах, вырабатывающих опять же электроэнергию: автомобиль на водороде – это, по сути, электромобиль. В итоге получим как бы особый накопитель электроэнергии, но с КПД цикла менее 20%.

Альтернативой служит сценарий *электрического мира*, когда более половины конечного потребления обеспечит электроэнергия. На качественно новых аккумуляторах она уменьшит прямое сжигание топлива до 47%, прежде всего на транспорте и в распределённой энергетике, а при освоении сверхпроводимости облегчит к тому же использование возобновляемой энергии, особенно солнечной и приливной.

От того, кто выиграет гонку идей и технологий эффективного аккумулирования электроэнергии, сильно зависит востребованность других направлений НТП и вообще конфигурация энергетики будущего. В прогнозах МЭА ясность в этой проблеме пока отсутствует.

Перейдём к энергетике России, которая хорошо обеспечена сравнительно дешёвыми энергоресурсами: мы располагаем 15% мировых запасов при менее 3% населения. Это важная особенность всех энергоэкспортирующих стран. А теперь о специфических особенностях нашей страны. Россия – самая холодная и протяжённая (11 часовых поясов) страна с очень низкой плотностью населения и энергетической инфраструктуры – соответственно в 4 и 7 раз меньше, чем в США. Далее, энергетическая эффективность российской экономики в 5 раз хуже среднемировой, а нагрузка энергетики на экономику в 4 раза выше: капитальные вложения в отечественную энергетику составляют 6% ВВП при 1.5% по миру в целом. Наконец, Россия, по меньшей мере, нейтральна к потеплению климата.

Влияние этих особенностей на приоритеты НТП проиллюстрируем на примере энергоснабжения условного посёлка из 100 домов в Германии и в России, на юге и в центре страны от энергосистемы, за счёт использования биомассы, ветра и солнца (табл. 4). В Германии затраты на биоэнергетику уже стали меньше, а затраты на ветроэнергетику практически сравнялись с затратами на энергию от энергосистемы (если в ней учесть плату за выбросы парниковых газов). В то же время солнечная энергетика и в Германии требует пока 100%-ных дотаций. На юге России энергоклиматические

Таблица 4

Суммарные дисконтированные затраты на энергоснабжение поселка*, млн долл.

Страна, регион	Вариант энерго-снабжения	Основное оборудование	Генерирую-щее оборудо-вание	Топливо	Электри-ческие и тепловые сети	Штраф за выбросы парниковых газов	Продажа побочных продуктов	Итого
Германия	Энергосистемы	ПГУ на угле + ГТУ + котлы на газе	10	13	3	11	0	37
Россия, юг		ПГУ на газе + ГТУ + котлы на пеллетах	4	7	11	3	0	24
Россия, центр		ПГУ на газе + ГТУ + котлы на пеллетах	4	7	11	3	0	25
Германия	Биомасса	ГПТЭЦ + котлы на с/х биомассе	25	1	4	0	-1	30
Россия, юг		ГПТЭЦ + котлы на с/х биомассе	25	1	4	0	-1	30
Россия, центр		ГПТЭЦ на биогазе + котлы на пеллетах	33	7	3	0	0	42
Германия	Ветровая энергия	ЭЭС + ВЭС + котлы на газе	9	6	14	8	0	36
Россия, юг		ВЭС + ДТЭЦ + котлы на пеллетах	14	16	3	3	0	36
Россия, центр		ВЭС + ДТЭЦ + котлы на пеллетах	15	20	3	4	0	42
Германия	Солнечная энергия	ЭЭС + СЭС + СК + котлы на газе	43	4	12	6	0	65
Россия, юг		СЭС + ДТЭЦ + котлы на пеллетах	43	13	3	1	0	60
Россия, центр		СЭС + ДТЭЦ + котлы на пеллетах	46	20	2	4	0	72

* Электрическая нагрузка 2 тыс. кВт, тепловая нагрузка 4,6 тыс. кВт.

Примечание: расчёты выполнены в ИНЭИ РАН и ИСЭМ СО РАН под руководством члена-корреспондента РАН С.П. Филиппова.

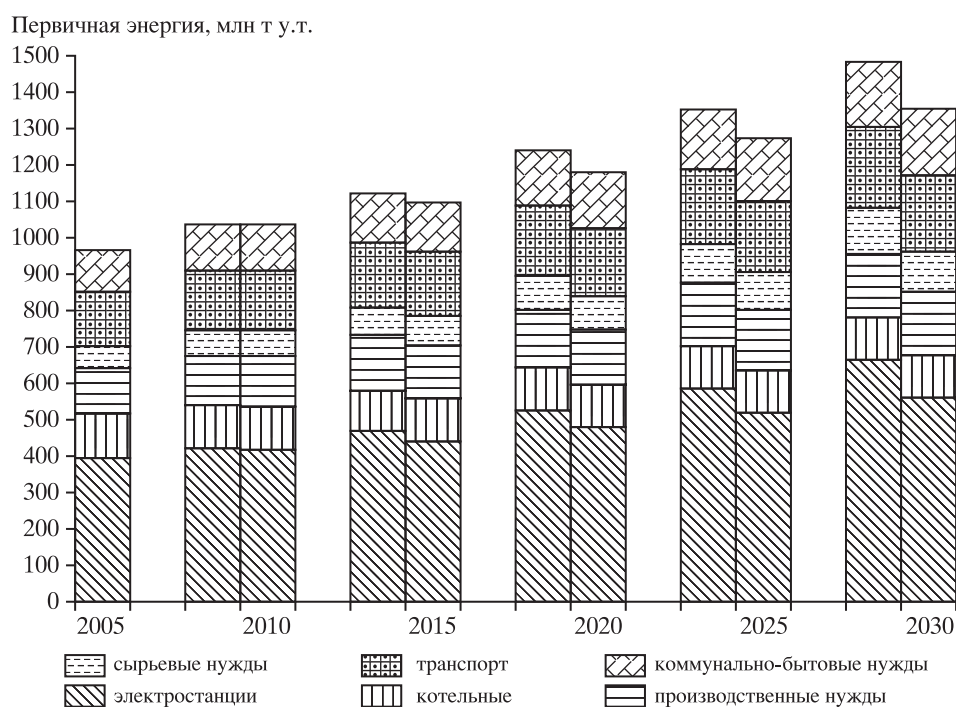


Рис. 5. Сферы использования первичной энергии

характеристики практически идентичны германским и все возобновляемые энергоресурсы стоят почти столько же. Но энергия от энергосистемы из-за дешёвого топлива (даже с учётом втрое больших затрат на её доставку) стоит в полтора раза меньше. Это откладывает применение новых энергоисточников до тех пор, пока цены топлива не достигнут современных европейских. В Центральной же России сдвиг во времени будет ещё больше: из-за худших климатических условий возобновляемые энергоресурсы здесь на 20–40% дороже, чем на юге.

Названные особенности энергетики меняют приоритеты НТП. Для России актуально прежде всего энергосбережение, так что технологический пакет МЭА в этой части для нас вполне интересен. Далее, при относительно дешёвом топливе нам нужны менее капиталоемкие технологии даже с несколько худшими КПД. Особенно важны для нас технологии дальнего транспорта энергии и распределённая (децентрализованная) энергетика. Кроме того, в своей технологической политике России целесообразно проявлять умеренность в сдерживании эмиссии парниковых газов.

До сих пор речь шла о направлениях НТП в энергетике. Но ещё важнее масштабы его применения, которые определяются прогнозом развития энергетике. Например, развернувшийся мировой кризис заставил существенно скорректировать основные параметры Энергетической стратегии России на период до 2030 г. Согласно расчётам Института энергетических исследований РАН, теперь ожидается рост:

- потребления энергии в зависимости от сценария развития энергетики на 35–70% со снижением доли природного газа (рис. 5);
- производства энергоресурсов на 30–40% при существенном замещении нефти и газа атомной энергией, возобновляемыми ресурсами и углём (рис. 6);
- экспорта топлива на 17–20% в период до 2020 г. с последующей стабилизацией или даже снижением (рис. 7).

Перед нашей энергетической наукой стоит задача определить с учётом мировых тенденций свои приоритеты НТП и создать технологии с параметрами, отвечающими российским условиям. Соответствующие работы уже ведутся. В частности, под руководством академика В.Е. Фортова и члена-корреспондента РАН В.М. Батенина разработана первая версия “дорожной карты” НТП для Энергетической стратегии России до 2030 г.; под руководством академика Э.П. Волкова создана Концепция НТП в электроэнергетике до 2030 г., которая была одобрена в своё время РАО “ЕЭС России” и воспринята её преемником – Федеральной электросетевой компанией; академик Н.Н. Пономарёв-Степной и член-корреспондент РАН Л.А. Болюнов подготовили альтернативные концепции Стратегии развития атомной энергетики России до 2050 г.; академик А.Е. Шейндлин инициировал разработку программы Президиума РАН “Фундаментальные основы развития энергетических систем и технологий”; академик О.Н. Фаворский подготовил доклад, в котором обобщены выполненные Отделением энергетики, машиностроения,

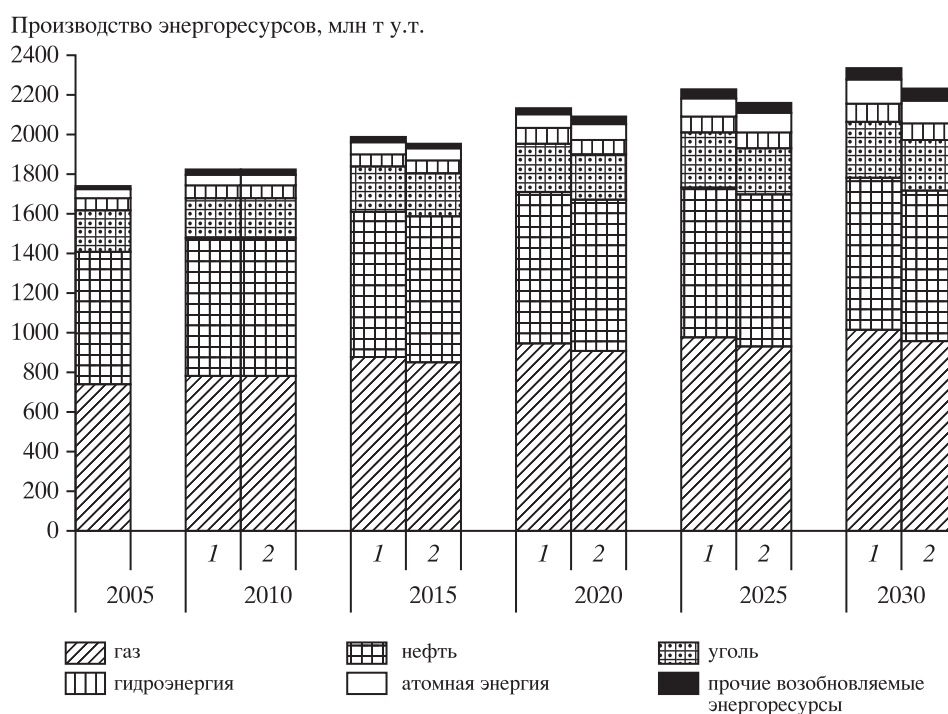


Рис. 6. Динамика производства энергоресурсов в России
 1 – инновационный сценарий развития энергетики, 2 – экологический сценарий

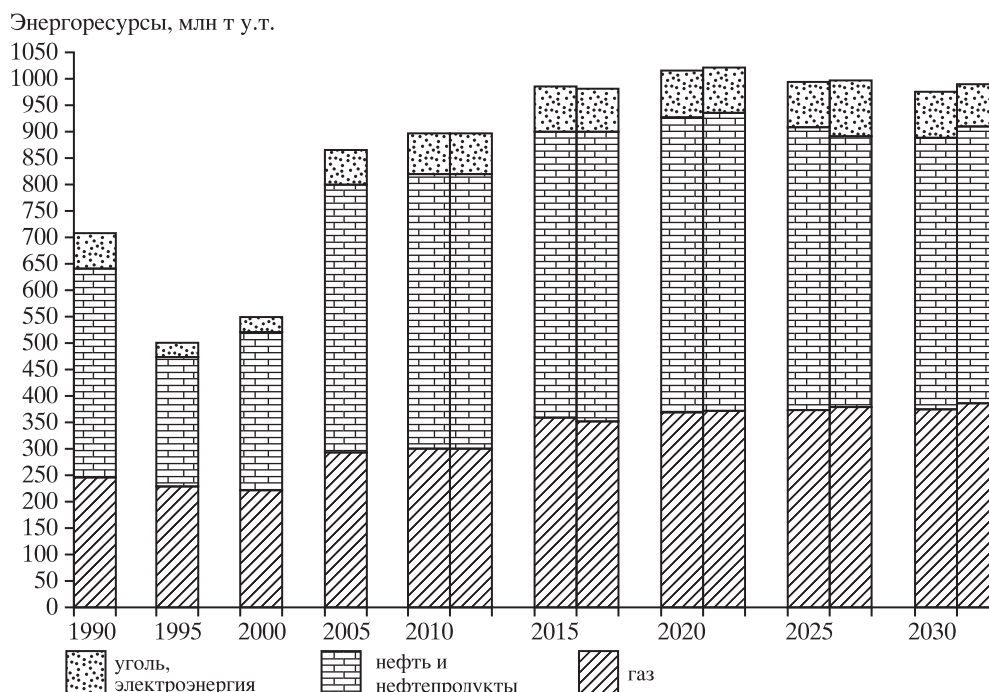


Рис. 7. Экспорт энергоресурсов в России

механики и процессов управления РАН исследования по инновационному развитию энергетики России до 2030 г., как часть общего прогноза Российской академии наук. Но главное ещё предстоит сделать.

Научные исследования по инновационной энергетике ведутся в рамках Федеральной программы фундаментальных исследований РАН на 2008–2012 гг. Каналом их реализации может стать Энергетическая стратегия России до 2030 г. Согласно приказу Минэнерго России, в состав почти 100 специалистов Межведомственной рабочей группы по формированию главного документа энергетической политики страны входят 15 членов Российской академии наук. Важно определить и закрепить в Энергетической стратегии состав, параметры, сроки и размеры применения приоритетных энергетических технологий с необходимым их финансированием.

Литература

1. Energy Technology Perspectives. Scenarios & Strategies to 2050. International Energy Agency. Paris, 2008.
2. Митрова Т.А. Появится ли евразийский газовый рынок? // Нефть России. 2008. № 2.
3. Макаров А.А. Энергетика будущего: экономические проблемы // Научные труды Международного союза экономистов. Т. 94. М.-СПб., 2008. С. 40–68.

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ РОССИИ: СЦЕНАРНЫЙ ПОДХОД

Член-корреспондент РАН Б.Н. Кузык

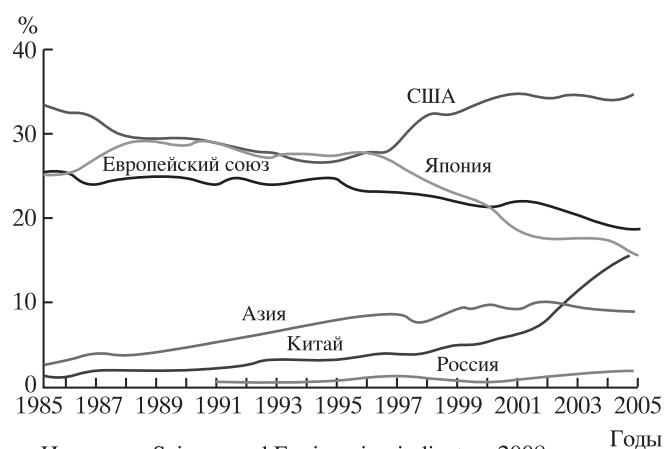
В докладе мы сосредоточимся на четырёх основных проблемах. Во-первых, рассмотрим состояние российского научно-технического комплекса в качественно новых условиях, в которых находится страна. Очень важно избежать, с одной стороны, эйфории, с другой – слишком алармистского отношения к этой проблеме. Российский научно-технический комплекс, именно такой, какой он есть, является основой для реализации политически продекларированной стратегии инновационного развития. Во-вторых, проанализируем сценарные варианты развития России до 2030 г. В-третьих, остановимся на основных базовых сценариях, прежде всего на долгосрочных инновационном и инерционном, и последствиях их реализации. В-четвёртых, рассмотрим роль и место Российской академии наук в системе долгосрочного прогнозирования и стратегического планирования развития нашей страны.

Известно, что расходы на научные исследования в Российской Федерации сократились за последние 18 лет более чем в 5 раз и приблизились к уровню развивающихся стран. Россия сегодня тратит на науку в 7 раз меньше, чем Япония, в 17 раз меньше, чем США. Более чем в 2 раза сократилось количество исследователей. И, конечно же, за этим следует целый ряд серьёзных проблем, которые возникли в нашем промышленно-технологическом комплексе, в том числе кадровых, научно-технологических и др.

Средний возраст работников российских предприятий более 50 лет. Износ основных фондов достигает по ряду направлений от 50 до 74%, при этом срок службы эксплуатируемого оборудования более 20 лет при максимально эффективной норме эксплуатации 9 лет. Новое оборудование, чаще всего, импортное. Более или менее современный уровень технологий сохраняется в основном на высокотехнологичных направлениях: в ядерной энергетике, ракетно-космической отрасли, авиастроении. В других отраслях, например, в электронной промышленности и особенно станкостроении, произошёл серьёзнейший обвал.

Таким образом, в целом по уровню развития высоких технологий, по самым скромным оценкам, страна откатилась на 10–15, а по некоторым направлениям на 20 лет назад. Это надо понимать и помнить, прежде чем рассматривать стратегию инновационного развития. Что касается нескольких интегральных параметров, то доля машиностроительной продукции в экспорте России составляет чуть более 5%, а вклад научно-технического фактора в прирост валового продукта менее 10%. Доля России на мировых рынках высоких технологий 0.2–0.3%. На графике (рис. 1) можно увидеть довольно грустную картину, свидетельствующую о том, что если Россия уйдёт с высокотехнологичного рынка мира со своими 6–9 млрд долл., то, в принципе, этого никто не заметит.

Таким образом, стартовые условия очень непростые и, скорее, даже критичные. Да, действительно, это системный, в том числе технологичес-



Источник: Science and Engineering indicators 2008

Рис. 1. Доля производителей высокотехнологичной продукции в мире

кий, кризис. Но Россия не первый раз входит в такой кризис. Совместно с нашими коллегами мы исследовали фундаментальные проблемы интегральной мощи России по девятифакторной модели на протяжении всего исторического пути её развития (рис. 2). Динамика интегральной мощи страны свидетельствует, что и в домосковский период, и в начале XVII в., и в начале и в последние десятилетия XX в. Россия находилась в системном кризисе. Проблемы, с которыми она столкнулась на современном историческом интервале, по сути дела, стояли и на предыдущих кризисных этапах её развития. Но Россия, обладая мощным внутренним потенциалом, всегда

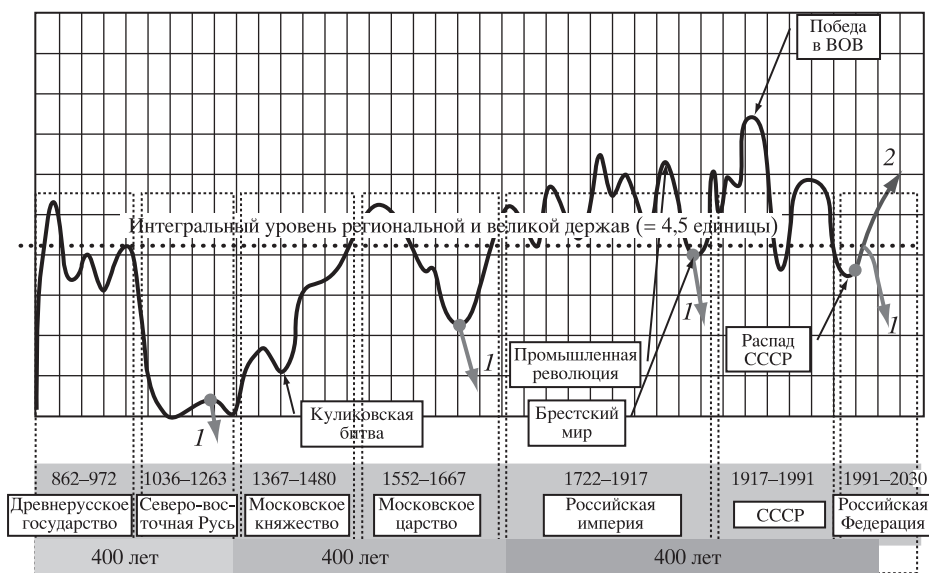


Рис. 2. Динамика интегральной мощи России (862–2008 гг.)
1 – инерционная стратегия развития, 2 – инновационная

находила в себе силы подняться, не исчезнуть и продолжала развиваться достаточно эффективно.

Сегодня перед страной стоит задача принятия и реализации стратегии выхода из системного кризиса и дальнейшего развития. Иногда можно услышать, что сегодня внезапно разразился кризис финансовый, и скоро, месяца через три, весь мир из него выйдет. Это ошибочное представление. Ещё раз подчеркнём – это кризис системный. Безусловно, мир переживает кризис, прежде всего духовного воспроизводства, но одновременно предстоит преодолеть кризисы демографический, энергоэкологический, продовольственный и технологический. Происходит смена технологических укладов и постепенный переход к шестому технологическому укладу, а это означает переход к новому качеству жизни в глобальном масштабе. Такой “парад кризисов” налагает ответственность на тех, кто разрабатывает и предлагает стратегии для принятия решений руководством нашей страны. Российские учёные понимают это и сосредотачивают внимание на складывающейся критической ситуации. Уже сегодня мы можем предложить ряд сценарных вариантов выхода из современного системного кризиса.

В соответствии с темой научной сессии РАН мы обсуждаем проблемы научно-технологического развития России до 2030 г. Задача научного сообщества состоит в том, чтобы обратить внимание на процесс смены технологических укладов, поколений техники и на всё то, что с этим связано. Исследования, заложившие основу понимания смены технологических укладов, принадлежат Николаю Дмитриевичу Кондратьеву – выдающемуся российскому учёному. Сегодня мир переходит к шестому технологическому укладу, рассчитанному на 50–60 лет XXI в. (рис. 3). Россия в настоящее время находится на третьем, четвертом и первых этапах пятого технологического уклада. К последнему относятся главным образом предприятия высокотехнологичного военно-промышленного комплекса. Таким образом, задача архисложная – осуществление перехода к шестому технологическому укладу, не до конца освоив предшествующий, пятый.

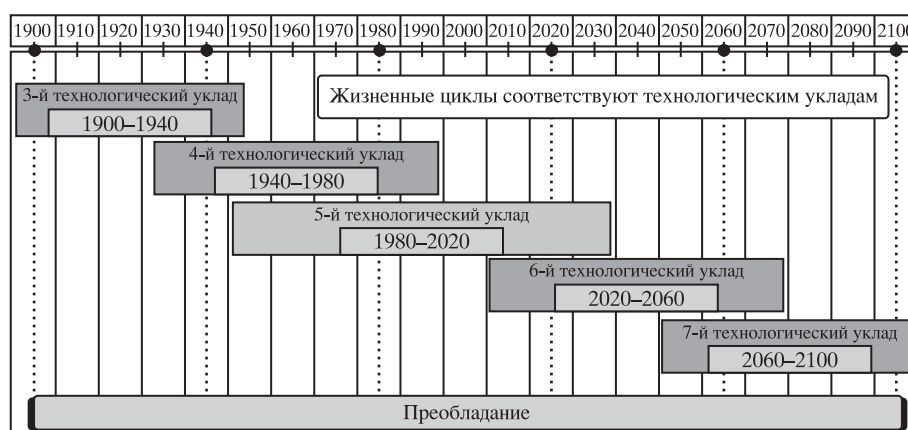


Рис. 3. Ритм смены технологических укладов и поколений техники

Что же собой представляет ядро шестого технологического уклада, каковы его базовые направления? Прежде всего это нанотехнологии, биотехнологии, информационно-коммуникационные технологии, технологии новых материалов. Развитие этого уклада в мире наблюдается уже в течение 15–20 лет, ещё через 15 лет благодаря новым достижениям ожидаются радикальные перемены в экономической и социальной сферах. К 2020–2025 гг. произойдёт новая научно-техническая, технологическая революция, основой которой станут разработки, синтезирующие достижения сферы базовых технологий по названным направлениям.

Страны мира серьёзно оценивают, взвешивают, анализируют эту ситуацию, и многие из них приняли стратегии развития до 2030 г., а некоторые – до 2050 г. Учёт достижений пятого и шестого технологических укладов характерен для стратегии развития науки США, Европейского союза, Японии, Южной Кореи. Приоритетные научные исследования этих стран базируются на прорывных технологических направлениях: нано-, био-, информационно-коммуникационных технологиях и других, связанных с данными направлениями.

Что же касается рынка высокотехнологичной продукции, то уже сегодня мы можем просчитать его перспективы. Так, если соотнести мировой рынок высоких технологий (порядка 3 трлн долл.) и рынок энергетических ресурсов (700 млрд долл.), то разница будет чуть больше, чем в 4 раза. В течение ближайших лет (до 2020 г.) ожидается прогнозный рост объёма рынка высокотехнологичной продукции до 10–12 трлн долл. по основным направлениям, а рынка энергетических ресурсов – до 1 трлн 200 млн долл. Следовательно, если сегодня соотношение высокотехнологичного и энергосырьевого рынков 4:1, то в последующем произойдёт масштабное изменение и соотношение станет 10:1. Вот почему развитые страны ориентируют свои стратегии прежде всего на освоение мировых сегментов рынка высоких технологий. Именно поэтому экономика знаний является сегодня ключевой в стратегиях, а для нашей страны – это вызов времени.

Что происходит и что может произойти со структурой экономики России при разных сценарных вариантах её развития? В своих расчётах (рис. 4) мы брали за точку отчёта 1980 год, не 1990-й, так как он не характерный, не показательный, не лучший год, а с плохим периодом сравнивать бесперспективно, хотя сравнения такие сегодня имеются. За период с 1980 по 2007 г. практически мы перевернули, если можно так выразиться, структуру нашей экономики. В определённой степени она была в 1980 г. более или менее сбалансирована, опиралась на прочный высокотехнологичный сектор народного хозяйства. Сегодня он серьёзнейшим образом сократился, с 30 до 18%, кроме того, по своим показателям он находится в третьем, четвёртом и лишь частично в пятом технологическом укладе. С такой экономикой никакого инновационного прорыва не осуществить, если он будет просто продекларирован политически, а на самом деле продолжен инерционный сценарий развития.

Каковы же будут результаты по итогам инерционного варианта развития, который сегодня реализуется? К 2030 г. структура экономики России, по экспертным оценкам, продолжит сползать в сторону сокращения высокотехнологичной сферы, в противоположную сторону от той экономики знаний,

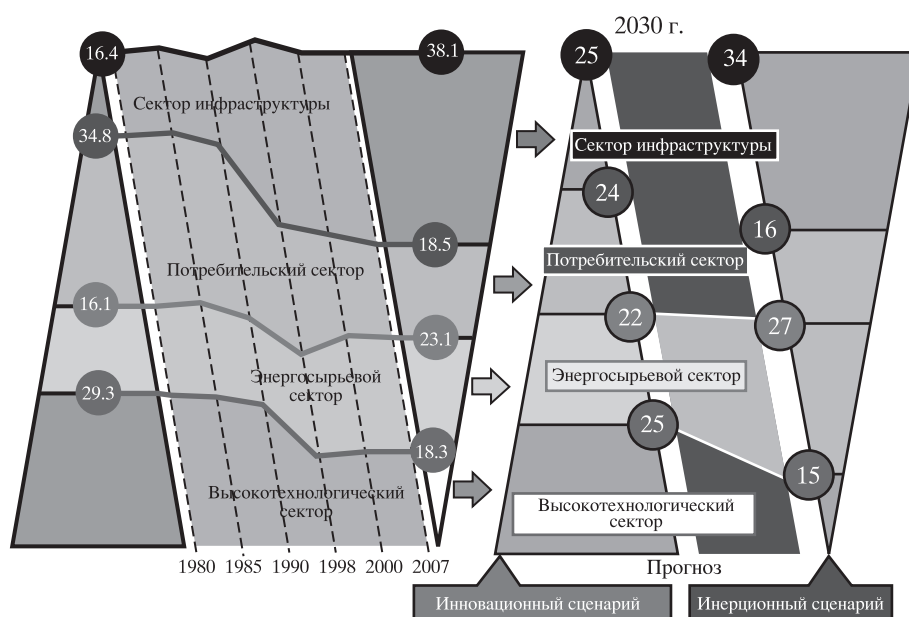


Рис. 4. Динамика структуры экономики России за 1980–2030 гг. по воспроизводственным секторам, %

о которой все сегодня говорят. По мнению многих специалистов, учёных Российской академии наук, с такой структурой экономики страна существовать не может. Следовательно, единственно возможный базовый вариант – вариант инновационного развития. Инновационный сценарий предполагает более сбалансированную, гармоничную структуру экономики. Это тема обстоятельного рассмотрения, сейчас же просто подчеркнём, что очень важно реализовать продекларированную руководством нашей страны стратегию инновационного развития.

Что для этого надо и что такая стратегия даст? Исходя из двух сценариев, представленных на рис. 5 (исследуется долгосрочный сценарий до 2030 г.), можно констатировать, что инновационный путь действительно гармонизирует совокупную мощь России, но останется большая, системно очень сложная проблема – демографическая. Это проблема проблем для России, не надо думать, что если сегодня немножко повысилась рождаемость, то это надолго. К 2025 г. демографы прогнозируют сокращение численности работоспособного населения на 17 млн и на 9 млн рост количества пенсионеров. Это надо учитывать.

Инерционный сценарий я уже комментировал, мы видим, что это практически системное сжатие России, и понятно, какие последствия наступят.

Где же Россия находится, на каком уровне, может ли она осуществить инновационный прорыв, о котором так много говорят, исходя из нынешнего сложного, кризисного состояния высокотехнологического комплекса? На наш взгляд, шанс у России всё же есть. Прогноз, который выполняла РАН по указанию президента России до 1 декабря 2008 г., позволил сделать вывод, что в стране действительно есть результаты мирового и выше мирового уровня.

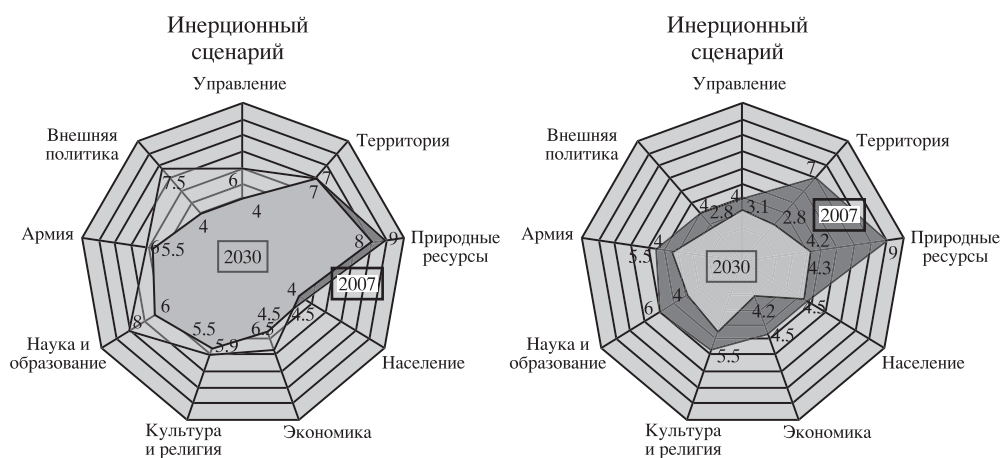


Рис. 5. Сравнительная эннеаграмма прогноза развития совокупной мощи России

Конечно, дискуссия продолжается, но некие базисные позиции мы можем показать. Отрадно, что в России по состоянию на 2008 г. есть исследования и разработки в области критических технологий, которые являются прорывными практически по всем направлениям шестого технологического уклада (рис. 6). Поэтому можно говорить, что у нас есть шанс. Далее именно на этих приоритетах надо сосредоточить кадровый, финансовый, организационный ресурс, чтобы не тратить силы на развитие направлений, по которым в мире ушли уже слишком далеко относительно нашего уровня, и нам придётся заимствовать мировые достижения.

Анализируя структуру и основные отрасли российской экономики по степени конкурентоспособности на мировом рынке, мы совместно с коллегами из Правительства РФ пришли к выводу, что имеется шанс осуществить технологический прорыв (возможности по занятию значимой доли на мировом рынке – 10–15%) в области авиастроения, ядерной энергетики, ракетно-космических систем и отдельных сегментов рынка nanoиндустрии, где у нас есть серьёзные научно-технологические заделы. Также мы понимаем, где существует некий технологический паритет, а где – отставание от мирового уровня. По некоторым позициям потребуется технологическое заимствование.

Сегодня необходимо реализовать модель стратегии инновационного развития, где все ресурсные возможности должны быть сфокусированы на инновационной структуре развития: кадровые, финансовые, материально-технические ресурсы. К таким инновационным структурам относятся, безусловно, Российская академия наук и другие академии, вузовская наука, высокотехнологичный комплекс. Задача в том, чтобы полученные научные результаты довести до серийной продукции, выйти на внутренний и внешний рынок.

Рассматривая модель инновационного развития России до 2030 г., надо подчеркнуть, что по таким базовым направлениям, как nano- и биотехно-

<p>Информационно-коммуникационные системы</p> <p>Технологии производства программного обеспечения <i>Биоинформационные технологии</i> Технологии создания интеллектуальных систем навигации и управления Технологии обработки, хранения, передачи и защиты информации Технологии распределённых вычислений и систем Технологии создания электронной компонентной базы</p>	<p>Рациональное природопользование</p> <p>Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы Технологии оценки ресурсов и прогнозирования состояния литосферы и биосферы <i>Технологии снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф</i> <i>Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов</i> Технологии экологически безопасной разработки месторождений и добычи полезных ископаемых</p>
<p>Индустрия наносистем и материалы</p> <p>Технологии создания биосовместимых материалов Технологии создания мембран и каталитических систем <i>Технологии создания и обработки полимеров и эластомеров</i> <i>Технологии создания и обработки кристаллических материалов</i> <i>Технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов</i> Нанотехнологии и наноматериалы Технологии мехатроники и создания микросистемной техники</p>	<p>Энергетика и энергосбережение</p> <p>Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом Технологии водородной энергетики <i>Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии</i> Технологии новых возобновляемых источников энергии Технологии производства топлив и энергии из органического сырья</p>
<p>Живые системы</p> <p>Технологии биоинженерии Биокаталитические, биосинтетические и биосенсорные технологии <i>Биомедицинские и ветеринарные технологии жизнеобеспечения и защиты человека и животных</i> <i>Геномные и постгеномные технологии создания лекарственных средств</i> <i>Технологии экологически безопасного ресурсосберегающего производства и переработки сельскохозяйственного сырья и продуктов питания</i> Клеточные технологии</p>	<p>Транспортные и авиационно-космические технологии</p> <p><i>Технологии создания новых поколений ракетно-космической, авиационной и морской техники</i> Технологии создания и управления новыми видами транспортных систем Технологии создания энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных систем</p>
<p>Уровень российских разработок соответствует мировому, а в отдельных областях Россия лидирует. <i>Российские разработки в целом соответствуют мировому уровню.</i> Российские разработки в целом уступают мировому уровню, и лишь в отдельных областях уровень сопоставим.</p>	

Рис. 6. Состояние основных исследований и разработок в области критических технологий в Российской Федерации (2008 г.)

логии, информационно-коммуникационные технологии, сейчас необходимо создать и реализовать национальные программы. Первые шаги пока сделаны по нанотехнологиям. Каков может быть бюджет названных национальных программ? По экспертному заключению, это 19–23 млрд долл. На данном этапе развития государству абсолютно по силам сконцентрировать эти ресурсы на указанных направлениях.

Но чтобы создать действительно новую экономику, мы должны обеспечить синергию реализации упомянутых национальных программ со стратегией развития секторов российской экономики: потребительского, высокотехнологического, минерально-сырьевого, топливно-энергетического и инфраструктурного. Иногда говорят, что энергетическое проклятье России – это наш минерально-сырьевой комплекс, а реально стране жизненно необходим высокотехнологичный сектор. Сырьевой комплекс, безусловно, также необходимо развивать, но только на инновационной основе. Поэтому нельзя говорить, что только высокотехнологичный комплекс можно считать инновационным, а сырьевой может быть неинновационным. Разработка, разведка, добыча, переработка минерально-сырьевых ресурсов – одна из важнейших задач инновационной стратегии развития России. Это же относится и к потребительскому, и к инфраструктурному комплексу. Таким образом, для успешного осуществления инновационной стратегии развития России необходима реализация четырех национальных программ и, как минимум, 12–14 национальных проектов по секторам экономики (рис. 7). Некоторые из проектов российскими учеными уже проработаны, они могут быть предложены для осуществления, многое для этого уже делается. Бюджеты по национальным программам и проектам составляют бюджет формирования новой экономики России.

В научном сообществе есть понимание, на чём необходимо концентрироваться в ходе первого, второго, третьего этапов реализации стратегии создания новой экономики страны. Но очень важно, чтобы названная модель инновационного развития была осознана не только научным сообществом, но и руководством РФ. Предстоит преодолеть известные проблемы при её претворении в жизнь, но и по интеллектуальному, и по ресурсному обеспечению этого процесса у России шанс есть.

Что же происходит сегодня? Мы видим, что идёт обсуждение распределения действующего резерва финансовых ресурсов. Практически речь идёт о 6 трлн руб., которые готовы распределить и направить в экономику России для того, чтобы погасить бушующий финансовый кризис, уже перешедший в экономический, а может дойти и до социального. Предпринимаемые шаги, конечно же, важны, но надо понимать, что это попытка поддержать на плаву действующую или, скажем так, старую экономику. Посмотрите американский план Полсона: более 100 из первых 700 млрд долл. направлены на новую экономику. У нас уже распределено 50% резервов, но они направлены на поддержание дряхлеющей экономики, а не на формирование основ новой экономики.

По некоторым направлениям будущего технологического прорыва (авиация, ракетно-космическая техника, судостроение), надо отдать должное, сформирован ряд федеральных программ, бюджет их более 30 млрд долл. на период до 2025 г. Есть надежда, что программы будут реализованы.



Рис. 7. Модель инновационного развития России до 2030 г.

Но этот объём недостаточен. Осуществление программ должно основываться на безусловном использовании технологичных направлений шестого технологического уклада. Необходимо серьёзно доработать эти программы под внедрение прорывных направлений в области нано-, био- и информационно-коммуникационных технологий. Если этого не сделать, то и эта, казалось бы, “новая экономика” у нас останется в четвёртом, максимум – пятом технологическом укладе. И тогда инновационного прорыва не будет.

Важен ещё и такой аспект будущего инновационного развития. Анализ 100 ведущих российских компаний с точки зрения горизонта стратегического планирования и базовых технологий их развития показал, что стратегии 70% крупнейших предприятий рассчитаны на не более чем 7 лет, ни о каком современном технологическом направлении, прорыве к новому технологическому укладу речь в них не идёт. Понятно, что за этим стоят триллионные инновационные программы, которые где-то уже утверждены и одобрены. Стратегические планы только 18% крупнейших предприятий рассчитаны на период от 8 до 12 лет. К шестому технологическому укладу эти планы и их инвестиционные программы пока имеют косвенное отношение. И только 12% крупнейших предприятий планируют свою деятельность более чем на 13 лет. Тогда как задача, которую ставит руководство России, требует ориентироваться на 2025–2030 гг., когда наступит завершающий этап реализации национальных программ.

Почему мы говорим о национальных программах? Казалось бы, есть механизм федеральных целевых программ. Однако по объёму, характеру,

горизонту, уровню, эффективности национальные программы принципиально отличаются от федеральных целевых программ. Если мы говорим о том, что является объектом национальной программы, то в отличие от федеральной – это технологическая база экономики страны, а не отдельной отрасли или региона. Характер национальной программы – научно-инновационный, экологический и социальный в отличие от научного, производственного – у федеральной. Перспектива, на которую рассчитывается национальная программа, – долгосрочная, как правило, 25–30 лет, а федеральная – среднесрочная, 5–10 лет. Управление национальной программой осуществляет Правительство РФ, а федеральной – министерства. Что касается эффективности, то это переход экономики на качественно новый уровень, повышение конкурентоспособности всей экономики, а не отдельного направления техники или технологии в случае федеральной целевой программы.

При этом очень важно, чтобы национальные программы сегодня формировались при участии российских учёных. Надо помнить, что во всём мире учёные обеспечивают и разработку, и научное сопровождение при претворении программ в жизнь. Поэтому научное руководство в части, касающейся учёных РАН, – принципиально важный блок в структуре управления каждой будущей национальной программы или национального проекта.

Каковы этапы реализации стратегии инновационного развития? В течение 2008–2009 гг. наша главная задача – не заниматься обсуждением концепции долгосрочного развития, а разработать, обсудить и утвердить конкретную стратегию инновационного развития России до 2030 г. 2009 год должен быть посвящён принятию пакета федеральных законов. Мы много говорим об инновационной экономике, а правового поля для её реализации нет. Не принят Закон об инновационном развитии, нет Закона о передаче технологий, Закона о стратегическом планировании и др. Поэтому уже сейчас надо декларации превращать в конкретную работу по законодательному обеспечению этого процесса. 2010–2015 гг. – этап реализации инновационных программ первой очереди, разработка долгосрочного прогноза до 2040 г. (2016–2020 гг. – второй этап) и до 2050 г. Базовые наработки в прогнозном плане и в плане стратегического планирования у наших учёных имеются.

Каковы возможные результаты стратегии инновационного прорыва? Реализация этой стратегии обеспечивает повышение технологического уровня экономики, переход к дальнейшим этапам шестого технологического уклада, серьёзное сокращение отставания в пятом технологическом укладе – к 2025–2030 гг. На этой основе произойдёт переход к принципиально новому качеству жизни населения.

При этом очень важно создать новую систему долгосрочного прогнозирования и стратегического планирования (рис. 8). Необходимо начать с создания межведомственного органа по координации этой работы в рамках Российской академии наук совместно со всеми государственными академиями, федеральными органами власти, вузовской наукой. На основе методологических и практических наработок должен быть создан долгосрочный прогноз социально-экономического, научно-технологического, территориального развития России до 2030 г.



Рис. 8. РАН в системе долгосрочного прогнозирования и стратегического планирования

Только это даст возможность осмыслить, понять и сформировать систему национальных целей и приоритетов, на основе которых уже в 2009 г. необходимо составить долгосрочный стратегический план до 2030 г. По результатам обсуждения он должен быть утверждён Президентом РФ и в последующем уточняться каждые 4–5 лет. Его составляющие элементы, ключевая несущая конструкция – это национальные 15-летние и 20-летние программы и проекты, о которых мы говорили в докладе. Они должны осуществляться на основе продуманной системы индикативного планирования на среднесрочную (3–5 лет) и краткосрочную (1 год) перспективу.

Не надо бояться слова “планирование”. Сегодня мы не знаем эффективно развивающейся страны, которая в ходе реализации своих стратегических задач не занимается планированием. Поэтому и у нас для создания новой экономики должна быть разработана, утверждена и реализована совершенно новая система долгосрочного прогнозирования и стратегического планирования при продуманном законодательном обеспечении, эффективной системе финансирования, решении важнейшей кадровой проблемы, существующей не только в области науки, но и во всех сферах деятельности. При этом федеральный, региональный, муниципальный уровни должны быть гармонично связаны, потому что без аналогичной работы в регионах ни построить, ни реализовать долгосрочную стратегию не представляется возможным.

Наконец, очень важно, чтобы осуществилось инновационное партнёрство науки, образования, государства и бизнеса с участием гражданского общества (рис. 9). Ключевые функции науки, о чём мы неоднократно говорили, это прогнозирование, экспертиза и то, чем всегда занималось научное сообщество, – фундаментальные и прикладные исследования. Государство – это



Рис. 9. Инновационное партнёрство науки, образования, государства и бизнеса

прежде всего законодательное обеспечение процесса, бюджетное финансирование, налоговое стимулирование, обеспечение инновационного климата. Бизнес возьмёт на себя инвестиционно-инновационные проекты и направит соответствующие финансовые ресурсы для освоения рыночных ниш. Образование – важнейший элемент, фундамент инновационной экономики. Это сфера подготовки специалистов, по-новому мыслящих государственных служащих. Сегодня надо уходить от “эффективных менеджеров” к высокопрофессиональным специалистам на государственном уровне. Конечно же, необходима система постоянного повышения квалификации, соответствующее обеспечение учебной литературой.

Такова модель инновационного партнёрства. К ней надо стремиться. В эпицентре – реализация национальных программ, национальных проектов и того пакета мер, который обсуждается сегодня. Только сформировав новое состояние, новый облик российской науки по предлагаемому отечественными учёными сценарию, опираясь на приоритетные направления формирующегося шестого технологического уклада, осуществляя стратегическое партнёрство государства, науки, бизнеса, образования и гражданского общества, мы сможем создать, обсудить, утвердить и реализовать стратегию инновационного развития России до 2030 г.

Действительно наша страна находится в очень непростой ситуации. Но никто не успокаивается, мы с вами прекрасно понимаем, что нужно работать на преодоление трудностей. Ведь в своё время наш выдающийся учёный М.В. Ломоносов произнёс ключевую на века фразу, которая и для сегодняшнего состояния страны безусловно актуальна: “Несмотря на угрозу извне, несмотря на всевозможные распри изнутри не было такого, чтобы Россия своих сил не возобновила”.

НАНОТЕХНОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Академик Ж.И. Алфёров

Год назад в этом зале я рассказывал об академической программе в области нанотехнологий (см. “Вестник РАН”. 2008. № 5). Сегодня хочу сообщить о заделах, которые уже созданы, и как они начинают использоваться.

Вообще наноматериалы обычно порождают целый ряд принципиально новых физических явлений, которые связаны с переходом к наноразмерам. В классическом случае полупроводниковых наноматериалов, полупроводниковых гетероструктур, исследования которых нами были начаты почти полвека тому назад лауреатом Нобелевской премии Лио Исааки, этот класс веществ определён как материалы, созданные человеком, в отличие от огромного семейства материалов, созданных богом. И хотя последние тоже получают в лаборатории искусственным путём, тем не менее они существуют и в природных условиях. А наноструктур, в которых проявляются новые квантоворазмерные эффекты, в природных материалах, как правило, нет.

Нанотехнологии получили очень широкое развитие в микроэлектронике, сверхбыстрой и оптоэлектронике, и сегодня реализуются и в энергетике. Прогноз общемирового рынка нанотехнологий – более 1 трлн долл. ежегодно в ближайшие 8–10 лет. При этом наноэлектроника, которая содержит в себе в том числе и элементы энергетических компонентов для силовой электроники и фотоэнергетики, составляет наиболее существенную часть мирового рынка нанотехнологий.

Нужно сказать, что современная полупроводниковая электроника и микроэлектроника возникли в 1947 г., когда был изобретён транзистор Джоном Бардиным, Уильямом Браттейном и Уильямом Шокли на фирме “Белл телефон”. Хочу обратить внимание многих отечественных бизнесменов на следующее. Когда исполнительный директор компании “Белл телефон” Мелвин Келли в 1945 г., сразу после войны, формировал группу, целью которой было создание твердотельного усилителя (то, что позже стало транзистором), и приглашал на работу Джона Бардина, Джеральда Пирсона и других высочайшего класса специалистов, он сказал примерно так: “Конечно, ваша задача заключается в создании твердотельного усилителя, но было бы очень хорошо, если бы вы в своих исследованиях проверили применимость квантовой механики в области конденсированного состояния вещества”. Считаю исключительно важным, если при выполнении сугубо прикладных исследований будут ставить перед специалистами и фундаментальные задачи.

Микроэлектроника родилась из первой интегральной схемы Джека Килби в 1959 г. В ней использовались кремниевые чипы, имелся и транзистор, и ри-переходы в качестве конденсатора. В 1961 г. Роберт Нойс создал первую интегральную схему современного класса. На кремниевой пластине на нескольких квадратных сантиметрах было несколько усилителей, несколько транзисторов и все необходимые соединения между ними.

Дальше Гордон Мур, один из основателей фирмы “Интел”, начинавшей работать вместе с Нойсом, сформулировал широко известный ныне закон,

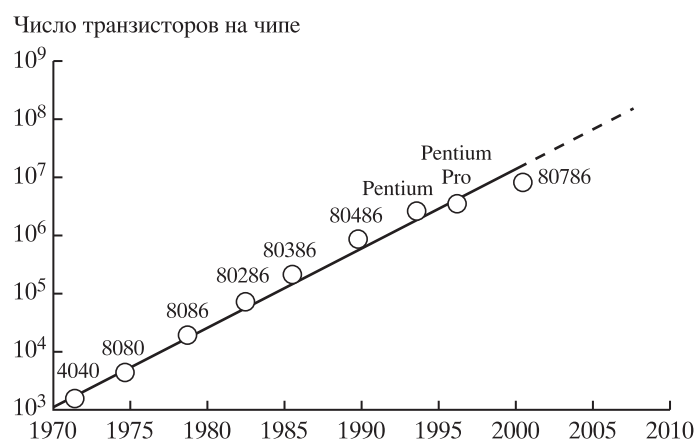


Рис. 1. Закон Мура – ежегодное удвоение числа транзисторов на кремниевом чипе

согласно которому ежегодно число компонентов на кремниевом чипе удваивается (экспоненциальный рост). В соответствии с законом Мура число компонентов сегодня уже достигает сотен миллионов транзисторов на кремниевом чипе (рис. 1). Чрезвычайно важно подчеркнуть, что и стоимость микроэлектронных предприятий тоже растёт по закону Мура, особенно при переходе на наноразмеры (сегодня достигнут 45-нанометровый уровень), и приближается к 3–5 млрд долл. С позиции современной физики, в кремниевой интегральной технологии почти ничего не изменилось. Это те же полевые биполярные транзисторы, которые были разработаны более 60 лет тому назад, классические и литографические методы. Но переход от размеров, исчислявшихся долями миллиметра к единицам нанометров, обеспечил огромный технологический прорыв. При этом существенно, что принципиальный предел неисполнения закона Мура всё прошедшее время отодвигался.

Хочу подчеркнуть ещё одно обстоятельство: микроэлектроника во второй половине прошлого века и в ближайшие десятилетия века нынешнего останется двигателем не только научно-технического прогресса, в том числе информационных технологий, но и социального прогресса, потому что социальные изменения, которые произошли во второй половине XX в., связаны прежде всего с развитием микроэлектроники. И отставание в этой области грозит нашей стране тем, что она будет сброшена со столбовой дороги развития ультрасовременных технологий.

Одновременно с кремниевой микроэлектроникой бурно развивается полупроводниковая электроника, в частности полупроводниковые гетероструктуры. Именно в полупроводниковой электронике в серии чисто фундаментальных исследований родились кристаллы, созданные человеком, а не богом. Затем после создания первых лазеров на двойной гетероструктуре появились оптоэлектронные приборы на полупроводниковых гетероструктурах, нашедшие самое широкое применение.

Идея двойной гетероструктуры была развита вообще для низкоразмерных электронных структур, что и привело к появлению структур с двумерным,

одномерным и нульмерным электронным газом. Квантовые точки фактически являются реальными искусственными атомами, создаваемыми технологически человеком в электронных устройствах. Должен отметить, что дорога к первым идеальным гетероструктурам оказалась очень непростой.

По определению моего старого товарища Герберта Кремера, с которым мы в 2000 г. разделили Нобелевскую премию, можно построить “географическую карту” гетероструктур (рис. 2). Она детализируется по мере развития исследований подобно тому, как со времён Магеллана уточняется карта Земли. Современная карта гетероструктур, даже без учёта нитридов, сопоставима по уровню детализации с современными географическими картами.

Можно абсолютно твёрдо утверждать, что во второй половине XX столетия произошла полупроводниковая революция, которая полностью изменила технологию и привела к большим социально-экономическим последствиям. Основой этой революции были довоенные открытия: зонная теория Чарльза Вильсона, теория контактных явлений Бориса Иосифовича Давыдова, теория фотоэлектрических явлений и экситонов Якова Ильича Френкеля. Осуществилась революция уже после войны только благодаря блестящему развитию технологии. История физики полупроводников и полупроводниковой технологии чётко демонстрирует: без технологий не рождалась новая физика, без новой физики не могла развиваться технология.

К основным технологическим методам полупроводниковой нанотехнологии относятся: относительно дешёвая жидкофазная технология, которая тем не менее позволила решить многие принципиальные проблемы; молекулярно-пучковая эпитаксия – наиболее совершенная современная технология;

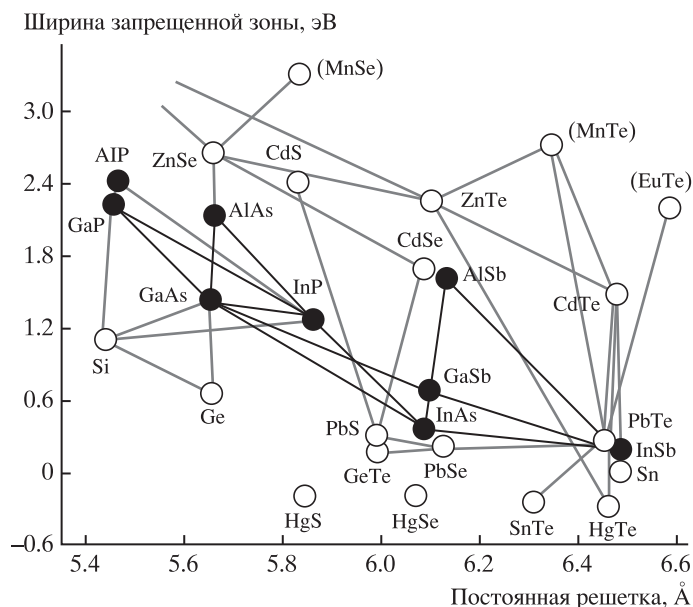


Рис. 2. “Географическая карта” гетероструктур Г. Кремера

Линии, соединяющие материалы – черные для полупроводников III–V групп и серые для остальных (магнитные материалы указаны в скобках) – обозначают квантовые гетероструктуры, которые уже исследованы. Нитриды еще не включены

газофазная эпитаксия из металл-органических соединений – наиболее совершенная промышленная технология.

Сегодня полупроводниковые материалы и наноструктуры вошли во многие отрасли электроники. Созданы, например, наноструктуры для мощных полупроводниковых лазеров, которые ныне находят самые разнообразные применения. Это произошло благодаря тому, что за прошедшие 40 с лишним лет удалось резко снизить пороговый ток полупроводниковых лазеров. В 1962 г., когда появились первые полупроводниковые лазеры, они сгорали быстрее, чем начинали работать.

Особенно убедительно демонстрируют взаимосвязь технологии и физики квантовые каскадные лазеры, созданные на основе так называемых полупроводниковых сверхрешёток. Идея каскадных лазеров была предложена в 1971 г. В.А. Сурисом и Р.Ф. Казариновым в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе. Реализована она была четверть века спустя на фирме “Белл телефон”. Хотя возможность их использования, например в экологических исследованиях, сразу же была оценена, сделать каскадные лазеры удалось только после того, как получил развитие метод молекулярной эпитаксии с очень точным компьютерным контролем. Сегодня это единственный тип лазеров, работающих при комнатной температуре в среднем и дальнем (до 10 мкм) инфракрасном диапазоне (рис. 3).

В целом микроэлектроника, включая СВЧ-микроэлектронику, ускорение быстродействия обычных кремниевых чипов на основе гетероструктур “германий-кремний”, базируется на двух типах транзисторов – гетероструктурном биполярном и так называемом хемтранзисторе. Последний – основа современной мобильной телефонии.

Приведу рисунок гетероструктурного дерева (рис. 4), сделанный в 1985 г. моим старым конкурентом и близким товарищем, профессором Ицуо Хаяши из Японии. Отдельные элементы (высокомощная электроника и солнечные батареи) к этому рисунку я добавил позже. Гетероструктурное дерево Хаяши основано на таком технологическом процессе, как эпитаксия. Если мы внимательно посмотрим на это дерево, то обнаружим, что добавленные мною элементы развились очень успешно, а применение перспективной в 80-е годы

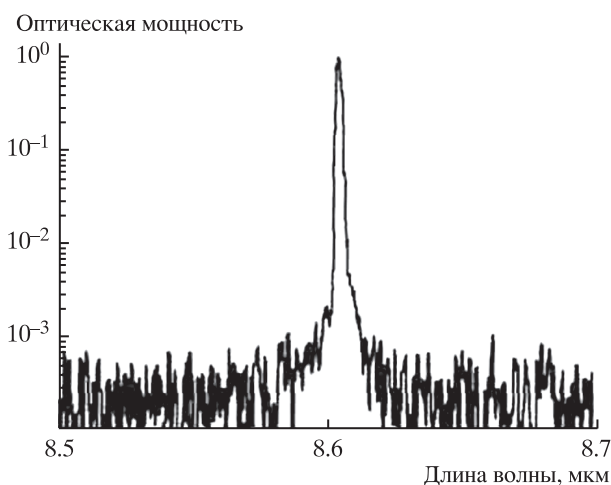


Рис. 3. Спектр излучения квантового каскадного лазера при комнатной температуре

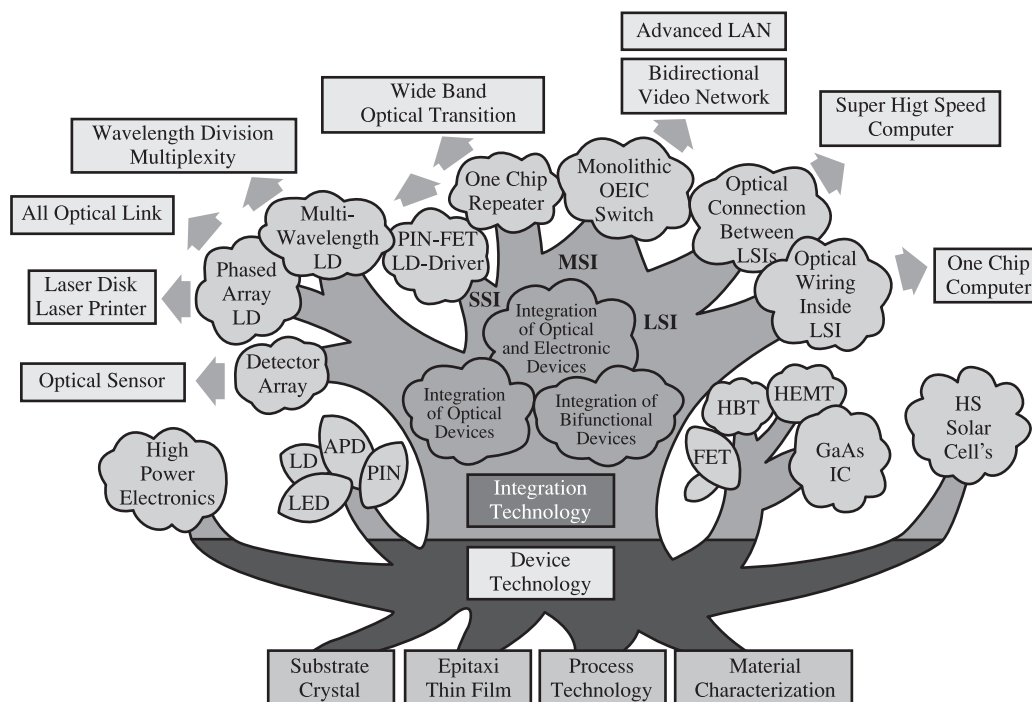


Рис. 4. Гетероструктурное дерево И. Хаяши
 Две боковые ветви дерева “High Power Electronics” и “HS Solr Cell’s”дорисованы Ж.И. Алфёровым

прошлого века оптоэлектронной интеграции практически затормозилось. И произошло это потому, что основные решения сверхбольших интегральных схем, включая и проблемы межсоединений, оказались доступны традиционным технологическим методам. Совершенствование традиционных методов позволяет сделать очень многое. И только сегодня снова встаёт проблема оптоэлектронных межсоединений с использованием для этих целей полупроводниковых лазеров.

В академических институтах – в Институте физики микроструктур в Нижнем Новгороде, в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе в Санкт-Петербурге, в Институте физики полупроводников им. А.В. Ржанова в Новосибирске, в Институте сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники в Москве, в Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова в Москве, в недавно созданном Санкт-Петербургском физико-технологическом научно-образовательном центре – исследования в области микроэлектроники ведутся на современном уровне. Так, в Институте физики полупроводников СО РАН создан фотоприёмник для инфракрасной области спектра на основе эпитаксиальных структур AlGaAs/GaAs; светодиоды на Санкт-Петербургском предприятии “Светлана” производятся по технологии, разработанной в Физико-техническом институте более 30 лет тому назад. Думаю, что через 15–20 лет (а может быть, и раньше) большая часть освещения в этом зале будет переведена на светодиоды, потому что они и вечные по сроку службы, и более эффективные, чем нынешние электрические.

кие лампочки, и экономию электроэнергии дают. По оценкам специалистов, к 2020 г. 50% освещения будет переведено на светодиоды, что даст 10%-ную экономию электроэнергии в мире.

Нужно сказать, что огромное энергосбережение мы получаем от силовой полупроводниковой электроники. Работы академика И.В. Грехова, базирующиеся на школе академика В.М. Тучкевича, в своё время определяли передовые позиции нашей страны в этой области техники. Электронная империя, элементы которой во второй половине XX в. существовали во всех республиках Союза, сохранились сегодня только в Российской Федерации и в Белоруссии. При этом если Белоруссия, как и Россия, имеет в технологическом отношении отсталую электронную промышленность, но по объёмам даже превышающую то, что было в дореформенные годы, то в России осталось не более четверти дореформенной электроники.

Теперь перехожу к проблемам энергетики. Её “шагреновая кожа” – это традиционные источники энергии (уголь, нефть, газ), запасы которых ограничены. Может быть, благодаря использованию газа и нефти на шельфах мы проживём на традиционных источниках гораздо дольше, но тем не менее и их запасы не безграничны. Реакторы на быстрых нейтронах, которые действительно могут работать очень и очень долго, имеют один принципиальный недостаток: они ведут к тепловому загрязнению нашей планеты, потому что используют внутренние ресурсы и греют планету. И когда население Земли достигнет насыщения – 12 млрд, согласно подсчётам С.П. Капицы, – и эти 12 млрд будут потреблять по 10 кВт на душу населения, как это делают сегодня жители США, тогда тепловое загрязнение станет опасным. И только один способ принципиально не меняет теплового баланса планеты и представляет собой неиссякаемый источник энергии – это солнечная энергетика.

Идея преобразования солнечной энергии родилась очень давно. Анри Беккерель, который известен прежде всего своими работами в области радиации, был создателем первых фотоэлементов. А первая полупроводниковая работа, опубликованная в 1876 г. Адамсом и Деєм в Великобритании, была посвящена, как сегодня мы бы сказали, селеновому фотоэлементу на гетероструктуре “селен-селенид кадмия”.

В космической технике солнечная энергетика используется с 1956 г. благодаря энтузиазму академика Н.С. Лидоренко. В области преобразования солнечной энергии в космосе мы были пионерами: третий советский спутник летал уже с кремниевыми солнечными батареями. В начале 1970-х годов, когда американцы только публиковали первые статьи по гетероструктурам, отечественные военные спутники были оборудованы полупроводниковыми солнечными батареями на гетероструктурах. Установлены были они и на космической станции “Мир” (рис. 5).

В Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе, в лаборатории В.М. Андреева, созданы батареи, работающие на концентрированном солнечном излучении (рис. 6). Их КПД составляет 30–35%, а КПД фотоэлементов – 40%. В ближайшем будущем мы надеемся повысить до 50% КПД солнечных элементов.

Если не произойдёт никаких драматических изменений в технологии, а будет просто оптимизироваться и развиваться технология кремния, тонкоплёночных элементов, гетероструктур, то в 2030 г. мощность солнечной

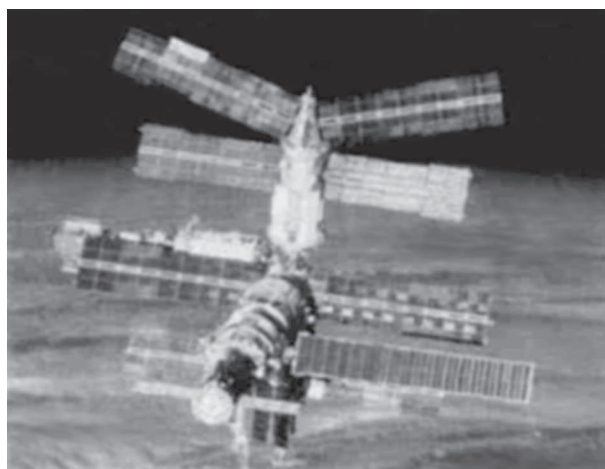


Рис. 5. Космическая станция “Мир” с полупроводниковыми солнечными батареями на гетероструктурах

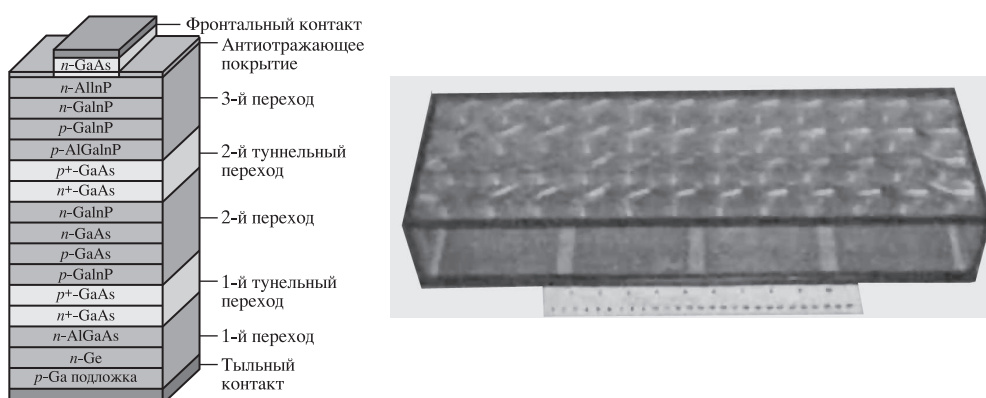


Рис. 6. Экспериментальный фотоэлектрический модуль для преобразования концентрированного солнечного излучения с панелью из 48 линз Френеля
Разработал в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе

энергетики в мире составит 140 ГВт (рис. 7) – это мощность всей энергетики России сегодня. Но в том случае, если произойдут серьёзные технологические изменения (их можно ожидать), некоторые эксперты проектируют на конец XXI столетия 100%-ное производство электроэнергии на основе преобразования солнечной энергии, а на 60-е годы нынешнего столетия – 60–70%-ное. На мой взгляд, это слишком оптимистический прогноз, хотя я уверен, что преобразование солнечной энергии решает проблему энергетики будущего.

Развитие солнечной энергетики, а также современной оптоэлектроники и силовой электроники будет идти на основе квантовых наноструктур. Они создаются человеком, поэтому все их свойства могут быть заданы. Перспективные методы получения и диагностики наноструктур – пучковая эпитаксия и сканирующая туннельная микроскопия.

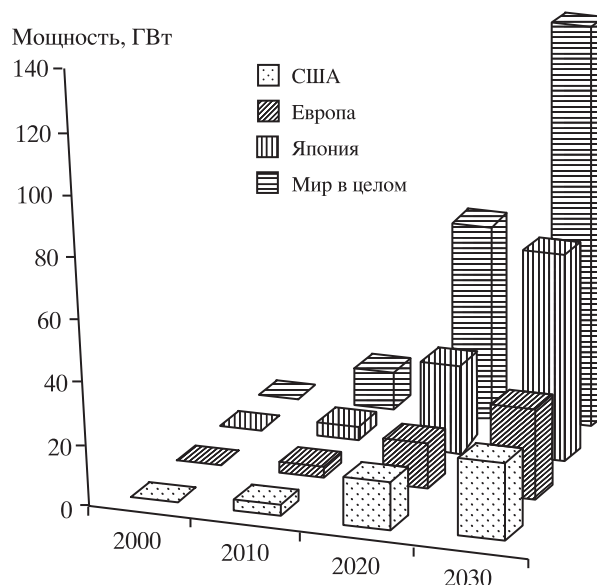


Рис. 7. Развитие полупроводниковой солнечной энергетики до 2030 г.

Завершить своё выступление хочу общими рассуждениями о высокотехнологичных проектах, к которым, безусловно, относятся нанотехнологии. С моей точки зрения, в прошлом веке было два инновационных проекта, увенчавшихся блестящим успехом. Между тем, когда они начинались, было неясно, а возможны ли такие технологии, возможно ли вообще решение главной проблемы. Этими двумя абсолютно успешными инновационными проектами XX столетия я считаю Манхэттенский проект США и Атомный проект СССР.

Успех обоих проектов определялся не только тем, что правительства признали их приоритетными и выделяли огромные средства на осуществление этих проектов, но и тем, что в них участвовали замечательные кадры. Кадровую проблему для Соединённых Штатов Америки решил Адольф Гитлер. Придя к власти, он стимулировал массовую эмиграцию высококвалифицированных ученых из Европы в Америку. Ту же кадровую проблему для советского Атомного проекта решил человек, который сам непосредственного участия в нём не принимал, – Абрам Фёдорович Иоффе, создавший советскую физическую школу. Лидеры нашего Атомного проекта – И.В. Курчатов, А.П. Александров, Л.А. Арцимович, Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон – и многие другие яркие физики были питомцами этой школы. И очень важно, что Атомный проект осуществили люди, которые прежде вели фундаментальные исследования.

Думаю, что наиболее успешным советским министерством среди отраслевых был Минсредмаш по той простой причине, что он всегда сохранял тесный контакт с учёными и технологами и постоянно сотрудничал с Академией наук. Сегодня, когда мы должны возрождать отечественную технологию, надо в первую очередь решить совместно с Академией наук проблему кадров. Чрезвычайно важно также материально заинтересовать академические

организации в участии в инновационных проектах. Это означает, что необходимо предоставить право академическим институтам, вузам и университетам быть учредителями инновационных компаний.

С моей точки зрения, чрезвычайно важно ещё одно обстоятельство. Если мы не создадим крупную промышленность в высокотехнологичных отраслях, то в нанoeлектронике, как и в микроэлектронике, мы можем оказаться за бортом прогресса. Основная беда нашей науки (я имею в виду прежде всего естественные и технические науки) – это даже не её низкое финансирование, а невостребованность научных результатов. А востребованы они могут быть только тогда, когда заработает цепочка: институт–инновационная компания–промышленность.

ХИМИЯ В XXI ВЕКЕ. ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

*Академик В.А. Тартаковский
и академик С.М. Алдошин*

В основу нашего доклада положен прогнозный анализ развития химии в XXI в., который подготовлен нами совместно с академиками А.Л. Бучаченко, В.И. Минкиным, А.И. Коноваловым, И.И. Моисеевым, Ю.Д. Третьяковым при участии академиков А.Р. Хохлова, А.Г. Мержанова, Р.З. Сагдеева, Г.А. Абакумова, членов-корреспондентов РАН Г.Б. Манелиса, С.Д. Варфоломеева и В.И. Овчаренко. По существу, наш доклад – коллективный труд Отделения химии и наук о материалах РАН. Речь пойдёт в основном о перспективах развития химии в новом столетии.

Все вещества, которые получают химики, – это результат неорганизованных химических реакций, в которых атомы и молекулы встречаются случайным образом во времени и в пространстве. В то же время химия в природе строит все свои объекты, опираясь на высокую организацию молекулярной и надмолекулярной структуры. Осознание этого обстоятельства и поворот химии как науки в сторону молекулярной и надмолекулярной организации – одно из главных стратегических направлений развития химии XXI в. Поэтому хотелось начать с *супрамолекулярной химии*.

Эта наука появилась в России примерно 30 лет тому назад и начала развиваться в Москве, Новосибирске, Казани и других городах. К настоящему времени она достигла блестящих успехов, в основном, благодаря тем результатам, которые получены в научных школах академиков А.И. Коновалова, М.В. Алфимова, А.Ю. Цивадзе и в ряде других центров.

Сегодня совершенно очевидно, что супрамолекулярные системы имеют особую нишу, свой уровень в иерархии материи. Вслед за атомным следует молекулярный уровень с ковалентными связями между атомами. Далее – уровень супрамолекулярный с нековалентным (межмолекулярным) связыванием молекул. В супрамолекулярных системах реализуются такие принципы организации и функционирования материи, как молекулярное распознавание, селективное связывание, взаимодействие рецептор-субстрат, трансмембранный перенос, супрамолекулярный катализ. На основе молекулярного распознава-



Рис. 1. Ожидаемые практические результаты супрамолекулярной химии

ния (а это химическая информатика) осуществляется самоорганизация, программируемая самосборка супрамолекулярных систем, которые максимально использовались в ходе становления биологических объектов. Ключевые структуры биологических систем, к примеру, двойные спирали нуклеиновых кислот, мембраны клеток, ферменты, являются супрамолекулярными системами.

Исходя из упомянутых выше принципов организации и функционирования супрамолекулярных систем, их теснейшей структурно-функциональной связи с биологическими объектами, мы прогнозируем два важнейших фундаментальных пути развития супрамолекулярной химии в XXI в. Во-первых, это разработка методов супрамолекулярной химии как инструмента конструирования наночастиц и наноматериалов с заданными свойствами, с использованием программируемой самосборки супрамолекулярных систем. Во-вторых, создание искусственных систем (включая природные аналоги), способных к взаимодействию с биологическими объектами на супрамолекулярном уровне (рис. 1).

Химия достигла верхнего, предельного горизонта – способности детектировать, пространственно фиксировать, перемещать и распознавать одиночную молекулу, измерять почти все её существенные свойства. На этом верхнем горизонте создаётся элементная база и разрабатываются технологии манипулирования одиночными молекулами для нанооптики, наномеханики и наноэлектроники. Это пролог к новой технологической цивилизации – к *молекулярной электронике*, которая работает с электрическими напряжениями порядка милливольт и электрическими токами порядка наноампер.

В развитых странах уже работают десятки оснащенных лабораторий, на их финансирование выделяются миллиарды долларов. Научный мир нахо-

дится в состоянии гонки, ясно осознавая, что положение любой страны в иерархии развитых стран определяется прорывами в этой области.

Молекулярная электроника и спинтроника – наиболее быстро развивающиеся области нанотехнологии, возникновение и развитие которой социологи рассматривают как пятую промышленную революцию. В начале дадим общее представление о развитии этой области химии. Предположения о том, что молекулы могут обладать способностью проводить электрический ток, были выдвинуты ещё на рубеже 50-х годов XX в. Малликеном и Сент-Дьерди, но обычно возникновение направления молекулярной электроники связывают с опубликованной в 1974 г. работой Арии Авирама и Марка Ратнера. Они выдвинули идею молекулярного выпрямителя (диода) – молекулы, содержащей мощные л-донорные и я-акцепторные группы, разделённые а-спейсером, и помещённой между электродами. Такие молекулы моделируют *pn*-переход в полупроводниках (рис. 2).

Следующий этап – синтез и исследование различных молекулярных переключателей, а также молекулярных проводов. Последние могут иметь самую необычную структуру. Пример – полидиацетилен, инкапсулированный в полисахарид шизофиллан с результирующей спиральной структурой.

Создание разнообразного спектра переключателей и нанопроводов обеспечило возможность формирования на их основе логических устройств. Предполагается, что к 2020–2025 гг. возникнет новая молекулярная технология. А ещё через 10–20 лет появятся квантовые компьютеры. Предполагается, что компоновка такого молекулярного компьютера будет аналогична кремниевому компьютеру. Но логические связи между отдельными элементами этого компьютера будут осуществлять логические вентили и умные молекулы.

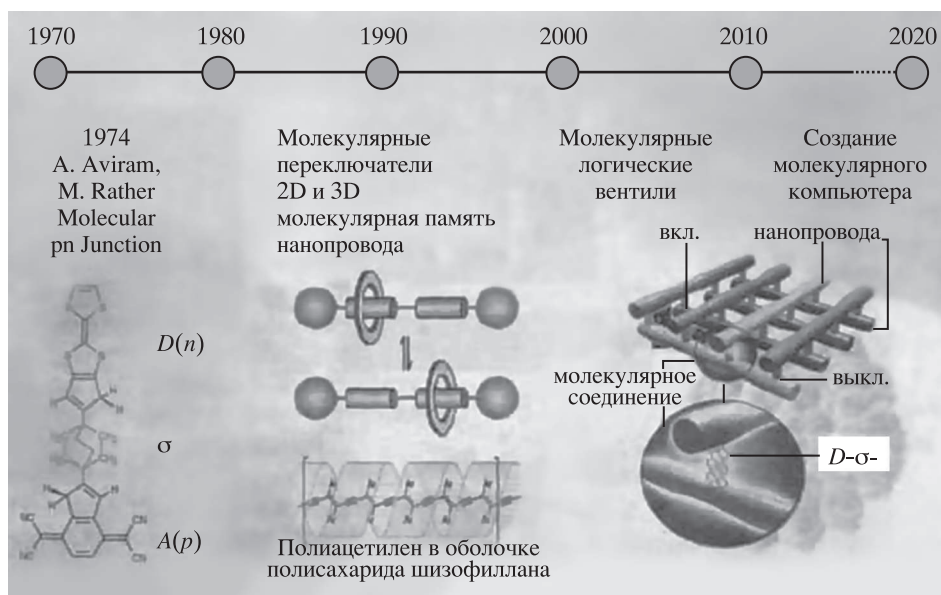


Рис. 2. Основные этапы развития молекулярной электроники

Элементная база молекулярных компьютеров – *бистабильные молекулярные и супрамолекулярные структуры* (умные – intelligent, smart). Это структуры, существующие в двух (или нескольких) термодинамически устойчивых состояниях, которым отвечают локальные минимумы на ППЭ. Переключение между этими состояниями осуществляется при помощи различных внешних воздействий. В терминах информатики такие структуры можно ассоциировать с понятиями логического нуля (0) и единицы (1), а их перегруппировки – с информационными переходами.

Молекулярные рамолекулярные образования, способные к обратимым перегруппировкам при действии света, квалифицируются как фотохромные системы. Пример – изученные в нашей стране академиками В.И. Минкиным, С.М. Алдошиным и М.В. Алфимовым, доктором химических наук М.М. Краюшкиным и другими химиками хромоновые, фульгидные, спиропирановые и спирооксазиновые системы. Они работают при комнатной температуре и имеют времена отклика на внешнее воздействие, то есть реакции порядка фемтосекунд, а времена установления равновесия – порядка пикосекунд. Устройства трёхмерной оптической памяти на их основе могут обеспечить колоссальную плотность записи информации. Даже при использовании лазера с излучением 532 нм плотность записанной информации составляет около 10^{13} бит/см³, а при использовании УФ-лазеров эта величина может быть повышена ещё на порядок.

Первые выпущенные в производство устройства *трёхмерной оптической памяти* – многослойные флуоресцентные диски – были созданы на базе индолилфульгидов – фотохромных соединений, полученных впервые в НИИФОХ при Ростовском университете и в Менделеевском технологическом университете и изученных в Центре фотохимии и ИПХФ РАН. Соединения, особенно 2-индолилфульгиды, отличаются исключительно высокой термической устойчивостью. Циклическая форма обладает флуоресценцией, по которой производится считывание информации. На этих дисках площадь бита – порядка сотых квадратного микрона, то есть 10000 нм². Это площадь нескольких тысяч молекул. При использовании аналогичной системы профессор Ирие из Японии показал, что в принципе площадь бита может быть доведена до размеров одной молекулы.

Особенно перспективное направление создания *материалов со сверхвысокоемкой магнитной памятью* (одна молекула – один бит) связано с разработкой мономолекулярных магнитов. Хотя магнетизм – это коллективное свойство, но металлорганические кластеры, характеризующиеся (i) высокоспиновым основным состоянием, (ii) большой магнитной анизотропией относительно энергетически наиболее благоприятного направления спонтанной намагничённости, (iii) отсутствием или слабыми магнитными взаимодействиями между молекулами, проявляют свойства постоянного магнита.

Важный показатель – температура блокирования (температура, ниже которой релаксация становится очень медленной). При 1.5 К кластер Mn₁₂ сохраняет намагничённость 40 лет, а при 2 К – в течение 2 месяцев, причем только 40% намагничённости.

Самый маленький полученный к настоящему времени мономолекулярный магнит содержит всего 5 металлических центров. Самый большой – наночастица диаметром 42 нм.

Для всех известных в настоящее время молекулярных магнитов температуры блокирования не превышают 3 К, что обусловлено весьма малыми величинами энергетических барьеров.

Проблема получения кластеров с высокими значениями спина решается достаточно успешно. Так, уже получен кластер, который имеет в основном электронном состоянии 83 параллельных электронных спина. Однако главной проблемой и главным направлением поиска остаются соединения с высокой анизотропией относительно “лёгкой оси”.

Рассмотренные данные свидетельствуют о значительном прогрессе в области быстродействующих оптических молекулярных переключателей и высокоёмких устройств памяти. Фактически достигнуты предельно возможные на молекулярном уровне показатели – быстродействие порядка скорости элементарного акта реакции и плотность записи “один бит – одна молекула”.

Способом управления такими молекулярными системами до сегодняшнего дня остаётся передача электрических сигналов. Поэтому перед химией XXI в. стоит задача создания *молекулярных выпрямителей и молекулярных проводов*. Поиск таких молекул, которые могут проводить электрический ток, ведётся самым активным образом. Есть теоретические оценки, по которым считается, что можно такие системы получить при конструировании плоских и линейных ароматических структур, в которых энергетическая щель между низшей свободной и верхней заполненной орбиталями будет наименьшей. Тем не менее расчёты показывают, что она всё равно будет выше 1.5 электронвольт.

Другое направление поиска – олигомерные металлокомплексные структуры. Наиболее обещающими в этом отношении являются порфириновые полимеры (академик А.Ю. Цивадзе, член-корреспондент РАН О.Н. Койфман).

Полагают, что лучшими кандидатами для использования в качестве молекулярных проводников будут линейные сопряжённые олигомерные структуры, имеющие сечение порядка 0.3 нм и длину от 1 до 100 нм. Подобные олигомеры получены Джеймсом Тауром (США), разработавшим так называемый конвергентно-дивергентный метод их получения. Достигнуты длины до 5–10 нм и измерена проводимость самособирающихся монослоёв (SAM), адсорбированных на поверхности золотых электродов при помощи тиольных групп для молекул длиной 5 нм. Достигнутая плотность тока – 50 А/см².

Интересное новое направление – молекулярные провода с изоляцией. Такие проводники необходимы, чтобы препятствовать перекрёстным связям в контурах. Главные подходы – инкапсулирование проводника в оболочку полимера.

На сегодняшний день химия добилась удивительных успехов в создании *наноматериалов* по принципу “снизу-вверх” и “сверху-вниз”. Результаты, полученные в области наноматериалов, уже сегодня являются впечатляющими.

На рисунке 3 показаны некоторые примеры материалов, внедрение которых ожидается в самое ближайшее время, менее чем через 10 лет. Это различные ультрадисперсные катализаторы, мембранные катализаторы и катализаторы на углеродных нанотрубках и нановолокнах для различных отраслей химической промышленности.

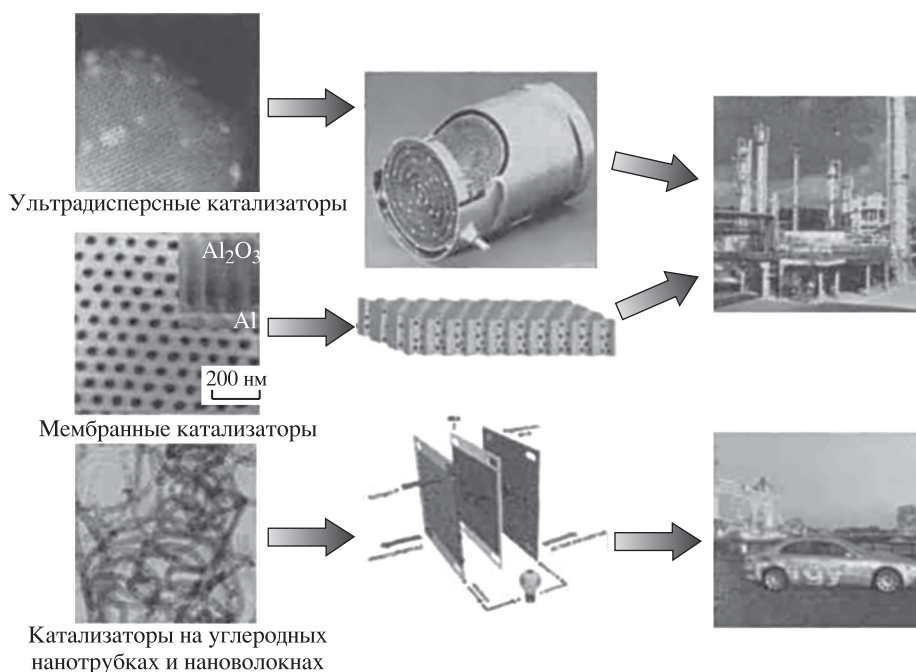


Рис. 3. Наноиндустрия и химическая промышленность

Наноматериалы, внедрение которых ожидается чуть позже (10–20 лет), предназначаются для нано-электроники, нанофотоники и информационных технологий. Это магнитная память на основе самоорганизующихся магнитных частиц, транзисторы на основе заполненных одностенных углеродных трубок и фотонные нанокристаллы.

Наноматериалы для биологии в основном находятся на стадии фундаментальных исследований, широким фронтом их внедрение ожидается более чем через 15 лет. Анализ разнообразного применения наноматериалов говорит о том, что в будущем практически все элементы нашей жизни могут быть связаны с нанотехнологиями и наноматериалами.

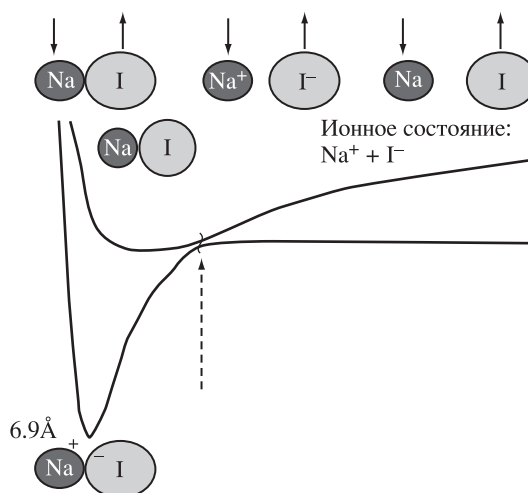
Несколько слов о *когерентной химии*. Это “новое лицо” химии. Когерентность – свойство химических систем формировать колебательные режимы реакции. Когерентность, то есть синхронность реакции во времени, проявляется в периодическом изменении скорости реакции и детектируется как осцилляции в выходе продуктов, эмиссии люминесценции, электрохимического тока или потенциала и т.д.

Химическая когерентность существует на двух уровнях – квантовом и макроскопическом. Квантовое происхождение имеют колебательная и спиновая когерентность. Самый популярный пример макроскопической когерентности – реакция Белоусова-Жаботинского.

Вот пример квантовой колебательной когерентности (рис. 4). Короткий лазерный импульс длительностью 10^{-14} – 10^{-13} с (его длительность меньше периода колебаний атомов) “возбуждает” молекулу и “помещает” её в новый потенциал. В этом новом потенциале ансамбль молекул, приготовленный

Рис. 4. Квантовая колебательная когерентность волнового пакета NaI

лазерным импульсом, ведёт себя когерентно, то есть колебания атомов всех членов ансамбля синхронизованы, а сам ансамбль является волновым пакетом. При движении по потенциальной поверхности волновой пакет может рассыпаться на ряд других пакетов (с другой амплитудой и фазой колебаний); часть их может дефазироваться (потерять когерентность) и исчезнуть, часть может интерферировать и восстановить частично исходный пакет и т.д.



Конечно, представленная картина является упрощённой, она иллюстрирует в простой и ясной форме основные идеи квантовой колебательной когерентности и её химические эффекты. Главная идея заключается в том, что когерентная химия привносит новый фактор в управление химической реакцией – фазу. Изменяя фазу, можно манипулировать химическим поведением ансамблей реагирующих частиц без изменения энергии или момента количества движения.

Ещё одна новая область современной химии – *спиновая химия*, исследующая поведение угловых моментов (спинов) электронов и ядер в химических реакциях (рис. 5). Спиновая химия основана на фундаментальном законе: спин электронов и ядер в адиабатических химических реакциях строго сохраняется; разрешены только те реакции, которые не требуют изменения спина. Другими словами, все химические реакции являются спин-селективными – они разрешены только для таких спиновых состояний реагентов, у которых полный спин одинаков со спином продуктов, и полностью запрещены, если спин реагентов не равен спину продуктов.

Надо чётко сознавать, что химией управляют два фундаментальных фактора – энергия и спин (в когерентной химии, как было показано в предыдущем разделе, возникает ещё и третий управляющий фактор – фаза). В отличие от запрета по энергии (он появляется, когда энергия реагентов меньше энергетического барьера реакции), который реакция умеет преодолевать через туннелирование под барьером, запрет по спину непреодолим.

Изменить спин могут нехимические магнитные взаимодействия; только они способны преобразовать спин-запрещённые (нереакционноспособные) состояния реагентов (например, радикальных пар) в состояния спин-разрешённые (реакционноспособные). Будучи ничтожно малыми по энергии, магнитные взаимодействия переключают каналы реакции: открывают закрытые каналы и, напротив, закрывают открытые (разрешённые) – в зависимости от стартового состояния реагентов. Фактически они пишут новый магнитный сценарий химической реакции.

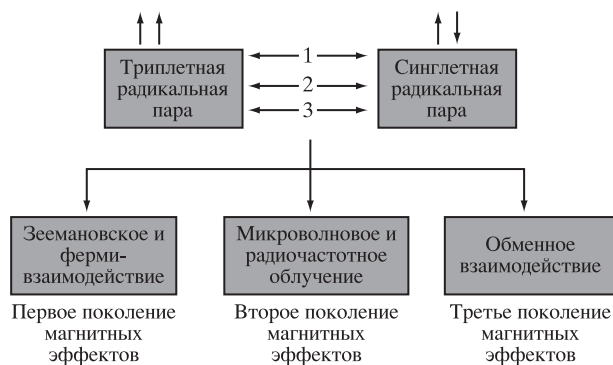


Рис. 5. Спиновая химия

Спиновая селективность и, следовательно, магнитная чувствительность химических реакций – источник трёх поколений магнитных эффектов, открытых в последние два десятилетия. В том случае, когда триплет-синглетные переходы индуцированы

статическими магнитными полями (внешними или внутренними полями магнитных ядер), возникают магнитные эффекты первого поколения. Магнитные эффекты второго поколения возникают, когда спиновая конверсия пар осуществляется под воздействием микроволновых полей. И, наконец, если конверсия пар происходит под влиянием третьей парамагнитной частицы, имеет место замечательное явление – спиновый катализ, третье поколение магнитно-спиновых эффектов. В этом случае третья частица (радикал, парамагнитный ион) является спиновым катализатором.

Будучи селективными по электронному спину, химические реакции между спиновыми носителями (радикалами, парамагнитными ионами и молекулами, карбенами и т.д.) селективны также и по ядерному спину. Если обе спиновые подсистемы – электронная и ядерная – связаны фермиевским сверхтонким взаимодействием (СТВ), тогда ядерная подсистема влияет на поведение электронной подсистемы через СТВ и, следовательно, модифицирует химическую реакционную способность спиновых носителей. Ядерно-спиновая селективность обеспечивает различие в скоростях спин-селективных реакций радикалов (или других спиновых носителей) с магнитными и немагнитными ядрами. Это новое явление – магнитный изотопный эффект (МИЭ), открытый академиками А.Л. Бучаченко, Ю.Н. Молиным, Ю.Д. Цветковым, Р.З. Сагдеевым, принципиально отличающийся от классического изотопного эффекта (КИЭ), который является следствием ядерно-массовой селективности реакций. Оба эффекта сортируют изотопные ядра: КИЭ отбирает ядра по их массам, МИЭ производит селекцию ядер по их спину и магнитному моменту.

На рисунке 6 представлен пример работы этого эффекта в биохимии. Синтез АТФ, молекулярного энергоносителя, ферментами (АТФ-синтазой и киназами) зависит от того, какой изотоп магния находится в каталитическом сайте фермента. В присутствии магнитного ядра ^{25}Mg выход АТФ возрастает вдвое. На базе этого открытия разрабатываются новые лекарства против гипоксии и сердечной недостаточности. И это только начало. Новая ядерно-магнитная изотопия обещает крупные открытия и в химии, и в биохимии.

Третий эффект, относящийся к магнитным эффектам первого поколения – химическая поляризация ядер (ХПЯ). В отличие от МИЭ, здесь происходит сортировка ядер не только по их магнитным моментам, но и по их ориентациям (рис. 7). Химическая реакция отправляет ядра с разной ориентацией в различные продукты, создавая неравновесные населённости ядерных

Рис. 6. Магнитный изотопный эффект в синтезе АТФ

зеemanовских уровней в этих продуктах. Избыточная населённость нижнего зеemanовского уровня соответствует положительной поляризации ядер, перенаселённость верхнего уровня – отрицательной поляризации. Последний случай особенно замечателен. Когда перенаселённость верхнего уровня превышает некоторый допустимый предел, то населённости инвертируют, – на этом явлении построена химическая радиофизика.

В ансамбле молекул-продуктов с инверсной населённостью в зеemanовском резервуаре запасается энергия; она может растратиться на тепло (через спин-решёточную магнитную релаксацию), но может превратиться в стимулированное излучение на зеemanовской ядерной частоте. В этом случае реакция становится радиочастотным эмиттером, квантовым генератором с химической накачкой (подобно химическим лазерам). Это новое явление – радиоизлучение химической реакции – сначала было предсказано теоретически, а затем обнаружено экспериментально.

Как правило, химические реакции, которые изучаются в лаборатории, происходят в достаточно узком интервале температур и давлений. Огромные просторы для химии открывают высокие и низкие температуры и высокие и сверхвысокие давления. К одному из таких открытий и достижений *экстремальной химии* следует отнести синтез металлического водорода, когда в результате ударно-волнового сжатия молекул водорода у них происходит отрыв электрона от молекулы и формируются металлизированные состояния, которые обладают высокой проводимостью – более $2000 \text{ Ом} \cdot \text{см}^{-1}$. Фактически водород начинает вести себя как расплав цезия и рубидия. Можно спорить, чей это результат – физиков или химиков, но самое главное, что отрыв электрона и преобразование структуры – это химические процессы. Эти работы выполняются академиком В.Е. Фортовым в ИПХФ РАН.

К таким же экстремальным реакциям химии нужно отнести *химию в высоких гравитационных полях*. Гравитационные поля могут существенно

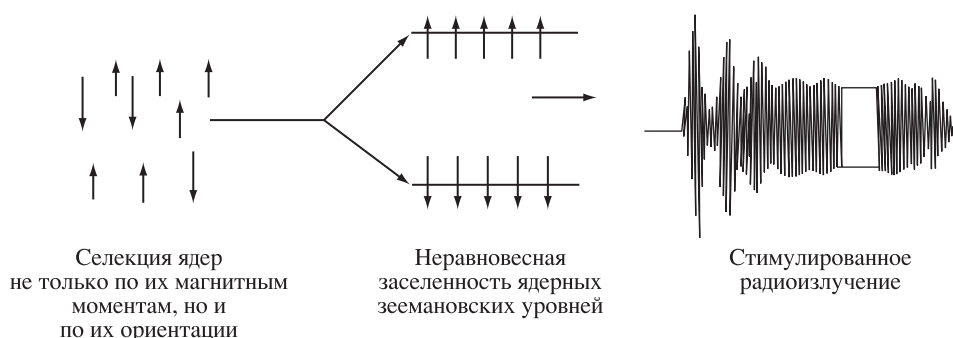
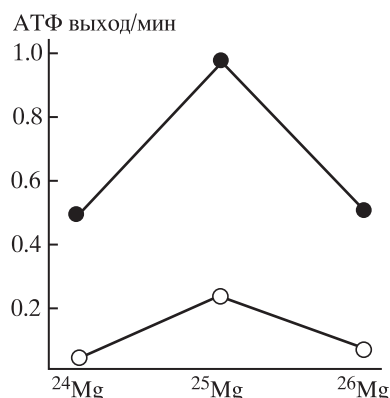


Рис. 7. Химическая поляризация ядер

изменять величины градиентов потенциалов, химических потенциалов. Создавать такие гравитационные поля можно за счёт центробежных сил. Это направление у нас в стране активно развивается академиком Г.А. Абакумовым с учениками. Оно открывает чрезвычайно интересные, обнадеживающие перспективы развития химии XXI в.

Вчера на Общем собрании Отделения химии и наук о материалах РАН академик И.Н. Фридляндер рассказывал о создании советских центрифуг для разделения урана-235, которого содержится только 0.7%, от урана-238. Если использовать такие центрифуги для проведения химических реакций в жидкой фазе, за счёт изменения концентрации можно создать полимерные линзы, которые обладают градиентной структурой, и фокусное расстояние у них будет определяться разностью показателей преломления разных сополимеров. То есть это плоские линзы с градиентным показателем преломления, что открывает очень серьёзные перспективы для развития оптики.

Область низких температур была всегда предметом изучения химии, и в XX в. академиком В.И. Гольданским и его школой было показано, что при сверхнизких температурах (вблизи 4 К) скорости некоторых химических реакций перестают зависеть от температуры и определяются только квантовыми эффектами реакции, когда не надо преодолевать энергетический барьер, а за счёт квантовых эффектов происходит туннелирование и образование продуктов.

Химию при температурах 10^{-4} – 10^{-6} К следует оценивать как “экзотическую”. Получение ультрахолодных атомов основано на изменении их скорости движения при поглощении оптического кванта (лазерное охлаждение атомов). Если атомы и лазерные фотоны настроены так, что поглощение происходит в низкочастотной области спектра (“красная” сторона), то такие атомы испытывают тормозящую силу, направленную вдоль потока фотонов. Атомы, помещённые в ортогональные лазерные пучки, тормозятся во всех трёх направлениях; при этом создаётся оптически вязкая среда, в которой движение атомов останавливается, их кинетическая температура составляет 10^{-4} – 10^{-6} К (можно даже достичь температур 10^{-10} К). Ультрахолодные, лишённые кинетической энергии атомы представляют интерес для точной спектроскопии и метрологии, для зондирования потенциалов атом-атом и атом-поверхность.

Успехи теории химических реакций – особая многообразная тема. Фактически она призвана решать две крупные задачи: построение поверхностей потенциальной энергии и расчёт движения ядер реагентов в рассчитанных потенциальных полях (собственно динамика химического акта). Обе задачи решаются в разных вариантах, на разных уровнях приближений, с разной степенью учёта квантовых эффектов. В принципе сегодня для любой реакции можно построить потенциальные поверхности с любой степенью точности (при этом необходимо уметь сколь угодно сложную реакцию сводить к простой без потери физического и химического содержания, с учётом возможностей современной вычислительной техники). Разработаны надёжные методы расчёта динамических траекторий движения реагентов на потенциальных поверхностях: метод классических траекторий (по законам классической механики Гамильтона-Ньютона-Лагранжа), полуклассических (учёт квантовых эффектов через суперпозицию начальных квантовых состояний

реагентов) и чисто квантовых траекторий (из решений уравнения Шредингера с получением вероятностей превращения реагентов по всем каналам – S-матрицы, или матрицы рассеяния). Из совокупности траекторий рассчитываются константы скорости.

Экспериментальные методы при исследовании кинетики химических реакций позволяют в настоящее время получить разрешение по времени 1–100 фс, что соответствует разрешению по координате 0.1–0.01 Å. Это означает, что именно с таким координатным разрешением осуществляется мониторинг движения ядер на потенциальной поверхности, в том числе на вершине барьера и в его окрестности. Ясно, что речь идёт о спектроскопии и химии переходного состояния: то, что всегда было объектом исследования теоретиков, стало предметом экспериментального исследования. *Фемтохимия* изучает движение реагирующих систем на потенциальной поверхности и вводит в химию экспериментальную химическую динамику.

Колебательная спектроскопия одиночной молекулы точно идентифицирует её “портрет”, позволяет следить за её динамикой и химической судьбой. Это открывает новые перспективы в науке о катализе. Уже ясны и теоретически обоснованы пути детектирования электронного парамагнитного резонанса одиночного спина. В *химии атомного разрешения* уже рождается множество новых идей.

И в заключение – о *химических технологиях XXI в.* Эти вопросы были очень подробно рассмотрены в докладах академиков Г.Ф. Терещенко и В.И. Пармона на Общем собрании ОХНМ РАН. Иерархия структур и связанных с ними закономерностей химических процессов не исчерпывается только уровнями ядер и электронов, атомов и молекул, кластерами и комплексами (наночастицы). На самом деле разнообразие структур и автолокализация во времени и пространстве продолжается и в макром мире. Уже в XX в. были созданы и начали широко использоваться процессы, в которых пространственно-временное распределение создавалось определёнными условиями организации процесса. К ним можно отнести горение и взрыв (СВС, получение алмазов и т.п.), а также хроматографию и ректификацию, что привело к резкому повышению эффективности, скорости и селективности реакции. В конце XX в. было показано, что в такого рода процессах возможна автолокализация тепла, разделение в пространстве зон химического превращения, комбинация в одном реакторе различных химических процессов, разделённых в пространстве. Это приводит к селективности, высоким КПД и открывает широкие возможности комбинации различных реакций. Есть основания полагать, что такого рода процессы лягут в основу комплексных процессов с энергетическим КПД 50–80%, селективных и безотходных. Например, переработка нетрадиционных топлив (битумы, сланцы, высокозольные бурые угли и т.п.) и биотоплив на основе газификации и пиролиза в сверхадиабатических режимах в кооперации с гидрированием позволяет получить одновременно синтез-газ, жидкие топлива и нетрадиционное сырьё для химической промышленности.

Одно из крупных достижений Российской академии наук – открытие “явления твёрдого пламени” и создание на его основе метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) (академик А.Г. Мержанов). Сейчас это прогрессивная область знания, которая возникла на стыке науки

о горении и материаловедения и проложила нетрадиционные пути к созданию материалов новых поколений (конструкционная и функциональная керамика, жаропрочные интерметаллические изделия и др.).

Как известно, в режиме СВС можно проводить лишь сильно экзотермические процессы, они реализуются в энергоёмких средах, обладающих большим запасом химической энергии. Недавно академиком А.Г. Мержановым был предложен иной подход к решению этой задачи: провести заданную слабоэкзотермическую реакцию в самораспространяющемся режиме. Для этого выбираются такие исходные вещества, которые, реагируя поэтапно, в заключительной стадии осуществляют заданную слабоэкзотермическую реакцию, но при высокой температуре, что эквивалентно повышению теплового эффекта.

И, наконец, об энергообеспеченности и энерговооруженности. Это, конечно, ключевые вопросы. Химическая промышленность принадлежит к числу крупнейших потребителей энергии. Вместе с тем химики вносят существенный вклад в производство энергии, и эта их роль будет только усиливаться по мере развития таких областей, как водородная и солнечная энергетика. Эти две функции химии во многом определяют задачи химической науки в области энергетики.

XX век начался как столетие угля и растительного сырья. В середине века возникла нефтехимия, вытеснившая растительное сырьё из ряда областей тяжелой химии (например, картофель был замещён нефтяными углеводородами в производстве спирта и синтетического каучука). В наши дни наблюдается возвращение возобновляемого сырья не только в большую химию, но и в топливную индустрию. Этот процесс мотивирован как требованиями защиты окружающей среды, так и удорожанием нефти. Повышение цены на нефть будет носить не только спекулятивный, но и защитительный характер, поскольку нефть – это невозобновляемое сырьё.

Основной ресурс крупнотоннажной химии будущего – растительное сырьё, представляющее собой сложный комплекс целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина. В настоящее время заложены основы развития двух принципиально важных научно-технических и технологических направлений производства – биотоплива и биопластики. Химико-биотехнологическими средствами удаётся конвертировать растительное сырьё в энергоносители различной природы – метан (биогаз), водород (биоводород), спирты (метанол, этанол, бутанол) и др.

Транспортная энергетика представляет собой наиболее ёмкий и наиболее чувствительный сектор экономики. Возникают новые виды топлив для автомобильного транспорта – биобензин (продукт конверсии биоспиртов), биодизель, биометан и диметиловый эфир и др.

Преимуществами топливной энергетики, основанной на возобновляемом сырьё, являются использование в качестве первичного источника солнечной энергии, значительные устойчивые ресурсы возобновляемого сырья, стабилизация глобального уровня углекислоты, поскольку биотопливо является продуктом фотосинтетической фиксации углекислого газа. Прогнозируемая динамика развития: 2020 г. – 20%, 2030 г. – 50% топливного мирового рынка.

Биопластики – полимерные материалы, получаемые путём полимеризации (поликонденсации) биомономеров. На основе использования хими-

ко-биотехнологических подходов из растительного сырья и отходов может быть получен широкий круг мономеров, создающих основу для изготовления полимерных материалов с новыми свойствами. В качестве технологически значимых биомономеров выступают оксикислоты, аминокислоты, биоолефины и др.

И, наконец, о химических технологиях будущего: они должны быть полностью безотходными и проводиться в средах, которые не создают проблем с точки зрения экологии (сверхкритические среды, ионные жидкости). Такие работы ведутся академиком В.В. Луниным с сотрудниками. Говоря о будущем химии, хотел бы процитировать слова М.В. Ломоносова: “Далеко простирает химия руки свои в дела человеческие”. В XXI в. роль химии в жизни и развитии общества будет поднята на новый уровень. Недаром 2011 г. объявлен Годом химии.

ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ НА ОСНОВЕ МАССОВЫХ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ*

Академик Е.П. Велихов

В докладе речь идёт о суперкомпьютерных технологиях. Как вы знаете, суперкомпьютеры всегда привлекали внимание начальства, поскольку были тесно связаны с разработкой и созданием боеголовок. Большой вклад в разработку этой проблематики внёс академик Ю.Б. Харитон. К настоящему времени у нас, и в США ситуация изменилась. Мы говорим сейчас о суперкомпьютерах, которые должны использоваться в массовых технологиях и самое главное – в промышленности, бизнесе и деятельности компаний.

Сегодня вообще трудно говорить о том, что такое суперкомпьютер. Если понимать под этим многопроцессорные системы, то персональный компьютер уже стал многопроцессорным. А темп развития суперкомпьютерной отрасли огромный. В 2008 г. суммарная вычислительная мощность всех суперкомпьютеров мира, грубо говоря, сравнялась с мощностью человеческого мозга, и кто знает, что будет к 2030 г. Трудно предугадать, что может произойти на Земле вследствие радикального роста вычислительных мощностей, учитывая тот факт, что в XXI в. мы воспринимаем весь мир через цифры, через компьютеры.

Доклад будет о земных вещах, о роли суперкомпьютеров в перевооружении промышленности, науки и образования, прежде всего промышленности. Сначала о ситуации в США и Европе. В 80–90 годах XX в. Россия подобное уже переживала. Это была довольно трагическая история. На Западе шло перевооружение промышленности, науки и образования на основе массовых персональных информационных технологий. Было налажено массовое

* При подготовке данного доклада использованы материалы Отделения математических наук РАН.

производство персональных ЭВМ, произошло техническое перевооружение промышленности на базе “персональных” информационных технологий и всеобщая автоматизация всех процессов – создания, производства, сбыта новых изделий. В результате резко увеличилась производительность труда, сократились в несколько раз сроки и стоимость создания и вывода на рынок новых изделий. Благодаря этому процессу на Западе сформировался целый ряд новых крупных компаний, которые превратились в “становой хребет” экономики знаний.

По поводу рыночной экономики знаний США. Задача, которая была поставлена и вновь ставится там, независимо от того, какая администрация у власти – демократическая или республиканская, – это лидерство на мировом рынке, в сфере промышленности, инноваций, образования, науки. Вся эта сфера “промышленность – инновации – образование – наука” рассматривается как единый национальный комплекс.

Есть три критерия эффективности экономики США: доля компаний США на мировом рынке, уровень занятости населения, доходы на душу населения. Ключевой элемент этого национального комплекса – промышленность. Именно промышленность генерирует и потребляет инновации, финансирует и определяет приоритеты в образовании и науке.

“Становой хребет” экономики знаний США – 900 системообразующих компаний США, где занято 30 млн работников (25% всей рабочей силы). Средний доход на одного занятого – 40 тыс. долл. в год, годовой оборот – 9,5 трлн долл. (40% оборота капитала в стране). Крупнейшие среди этих компании: “Интел” – 75% мирового рынка, “Боинг” – 48% мирового рынка, “Дженерал Моторс” и “Форд” – более 20%. Произведённые корпорацией “Боинг” 12 тыс. лайнеров составляют сегодня 75% мирового флота пассажирских авиалайнеров. Оборот корпорации в 2007 г. достиг 66 млрд долл., расходы на НИОКР – 3,9 млрд долл. Выплаты служащим и пенсионерам в пересчёте на одного работающего составляют 93 тыс. долл. в год. Стоимость уже сделанных на четыре года вперёд предварительных заказов около 327 млрд долл. Правда, эти цифры характеризуют ситуацию до кризиса, но вряд ли кризис существенно изменит системообразующий характер корпорации.

Сейчас происходит техническое перевооружение промышленности, науки и образования США и Европы на основе уже не персональных, как в прошлом веке, а суперкомпьютерных технологий. Начиналось это перевооружение, конечно, с научных работ в головных университетах. Например, виртуальная модель авиационного двигателя “Прадт-Уитни” создавалась на 360-терафлопном компьютере в Стенфордском университете.

Показателен пример использования суперкомпьютеров корпорацией IBM. Сейчас в лаборатории IBM в Цюрихе путём предсказательного моделирования на супер-ЭВМ BLUE-GENE/L решены важные задачи, связанные с взаимодействием двуокиси гафния с другими материалами на атомарном уровне. На основе методов молекулярной динамики проводилось компьютерное моделирование поведения моносилката гафния, смеси кремния и окиси гафния. Каждая модель включает до 600 атомов и до 5 тыс. электронов. Вычисление одного значения диэлектрической постоянной на 11-терафлопном компьютере занимает пять дней. Полный цикл моделирования

длился 250 дней. Если попытаться делать это на персональном компьютере, то придётся сидеть за ним 700 лет. В результате была получена ясная картина основополагающих физических процессов, определяющих уникальные электрические свойства гафния при взаимодействии с кремнием.

Каковы же итоги более чем 25-летнего развития суперкомпьютерных технологий в США? Старт был дан комиссией Лакса, организованной в 1981 г. Комиссия пришла к выводу, что рыночные механизмы не способны обеспечить создание необходимых промышленности США суперкомпьютерных технологий, поэтому требуется мощная государственная поддержка. В результате в 1991 г. был принят закон о федеральной поддержке высокопроизводительных вычислений. В 2006 г. авторитетный Совет по конкурентоспособности экономики США, опросив ряд высокотехнологичных компаний, опубликовал следующие данные: если бы был закрыт доступ к суперкомпьютерным технологиям, то из 33 опрошенных высокотехнологических компаний США 97% потеряли бы свою долю мирового рынка и лишь 3% продолжали бы существовать. Таким образом, суперкомпьютерные технологии действительно стали составной частью промышленной мощи США.

Одной из наиболее важных инициатив президента США Дж. Буша стала инициатива 2006 г. под названием “Америка соревнуется”, направленная на повышение конкурентоспособности США. В ней предложена комплексная стратегия сохранения позиций США как самой инновационной нации в мире. Этой цели Америка собирается достичь путём активизации образования, исследований, усиления технологической подготовленности, привлечения лучших из лучших работников со всего мира и создания системы подготовки научных кадров, ориентированных на XXI в.

Рыночная экономика знаний США в XXI в. опирается на закон, принятый в 2007 г. под названием “Америка конкурирует”. Выделяются соответствующие средства и обязываются федеральные агентства на принятие конкретных действий, направленных на выполнение программ, предусмотренных законом, который также стимулирует активность агентств в различных штатах и частный бизнес. Удваиваются расходы на фундаментальные исследования в области физических наук в рамках Национального научного фонда, Департамента энергетики и других организаций. Приоритетными направлениями названы супервычисления, альтернативные источники энергии и нанотехнологии.

Закон определяет сроки и объёмы финансирования нескольких программ поддержки системы школьного образования: “Математика прямо сейчас”, “Облегчение доступа к высшему образованию детей малоимущих семей”, “Организация школьных курсов повышенного уровня по математике, другим точным наукам и важнейшим иностранным языкам”. Объём финансирования на три года составит 40 млрд долл. (Национальный научный фонд получит 6.5 млрд долл.).

Теперь о Европейском союзе. В Евросоюзе хорошо почувствовали вызов со стороны как США, так и Японии. И на этот вызов был дан надлежащий ответ (рис. 1). Первая сформулированная цель – мировое лидерство в разработке программного обеспечения для петафлопных суперЭВМ. Успех супервычислений на 80–90% обеспечивает математика – алгоритмы и програм-

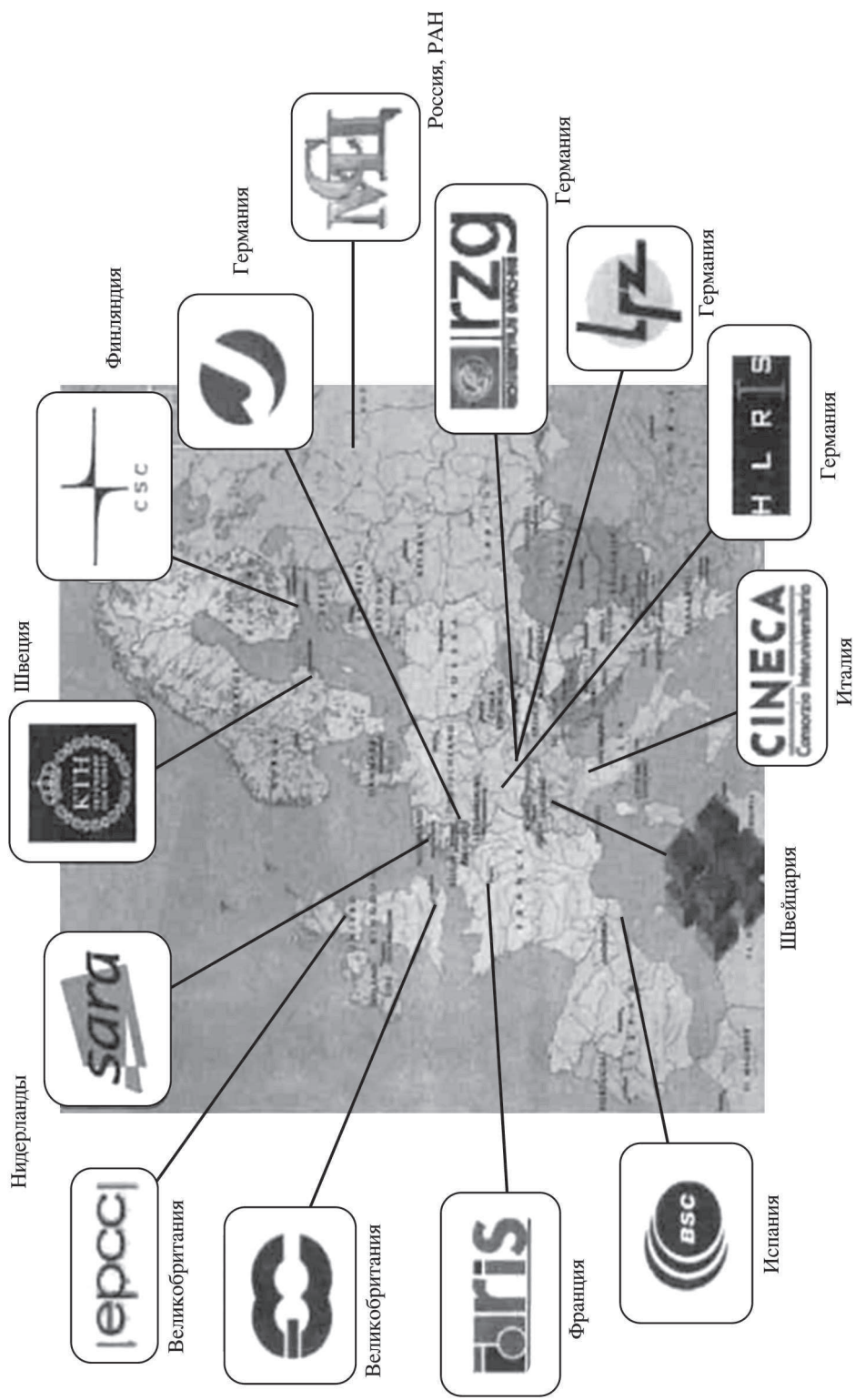


Рис. 1. Распределенная европейская инфраструктура для компьютерных приложений

мы, а не железо, как мы говорим. Именно алгоритмы и программы и есть сегодня наиболее трудная и важная часть супервычислений. С 2008 г. Евросоюз планирует ежегодно выделять на разработку программного обеспечения 250 млн евро. К 2010 г. будет создано три–пять наднациональных центров петафлопного класса. Продукты – виртуальный вертолёт, виртуальная электростанция, виртуальный реактивный двигатель, виртуальный пассажирский лайнер. Наш академический центр включён в эту инфраструктуру – в 7-ю рамочную программу Россия-ЕС. Все страны фактически вносят свой вклад в эту рамочную программу.

В Китае за последние пять лет в высокие технологии были вложены 30 млрд долл. Несколько лет назад я был в Китае, мы их убеждали в том, как важно нам сотрудничать и развивать технологию GRID, коммуникации. Мы говорили о 150 мегабит в секунду. Они утверждали, что это слишком много для них, а сегодня 150 гигабит для них уже мало. В 2000 г. Академия наук Китая приняла решение о создании собственного микропроцессора как базы суперкомпьютеров, для того чтобы преодолеть зависимость от американских компаний. Это не значит, что они не используют всё то, что делают IBM, “Интел” и другие компании. Но всё-таки в Китае был создан собственный микропроцессор и собственное программное обеспечение. В планы китайцев входит суперЭВМ на 230 терафлопс в 2008 г. и суперЭВМ на 1 петафлопс в 2010 г.

Теперь посмотрим, что же происходит в России. Вначале о предыстории. У нас, как вы помните, недооценивалась стратегическая роль массовых информационных технологий. Но выяснилась одна простая вещь: рыночные механизмы (как это видно и по американскому опыту 1990-х годов) сами по себе в принципе не способны обеспечить техническое перевооружение промышленности, науки, образования на основе массовых информационных технологий и создание суперкомпьютеров. Поэтому можно говорить о незавершённости технологического перевооружения промышленности, науки и образования России на основе массовых персональных технологий. Мы находимся на мировом уровне 1980-х годов. Основные проблемы состоят в недооценке властными структурами стратегической роли массовых информационных технологий – “инновационного катализатора” промышленности, науки и образования. Существует также принципиальная неспособность либеральных рыночных механизмов обеспечить технологическое перевооружение промышленности, науки и образования на основе массовых информационных технологий (и “персональных”, и суперкомпьютерных).

Главный вопрос здесь – производительность труда. Сейчас существует многократное отставание крупнейших российских компаний от конкурентов по объёму продаж: наша нефтедобыча отстаёт в 14, металлургия – в 19, химия – в 20, пищевая промышленность – в 40, автомобилестроение – в 44 раза. Падение добычи на одного работающего с 1990 г. по 2005 г. в нефтяной отрасли – 2.5 и в газовой – 2.8 раза. Если объём продаж нашей замечательной компании “Газпром” составляет 81 млрд долл., то объём продаж компании “ЭКСОН”, в которой работает существенно меньше сотрудников, – 405 млрд долл., то есть выработка на одного человека в 20 раз больше, чем у нас.

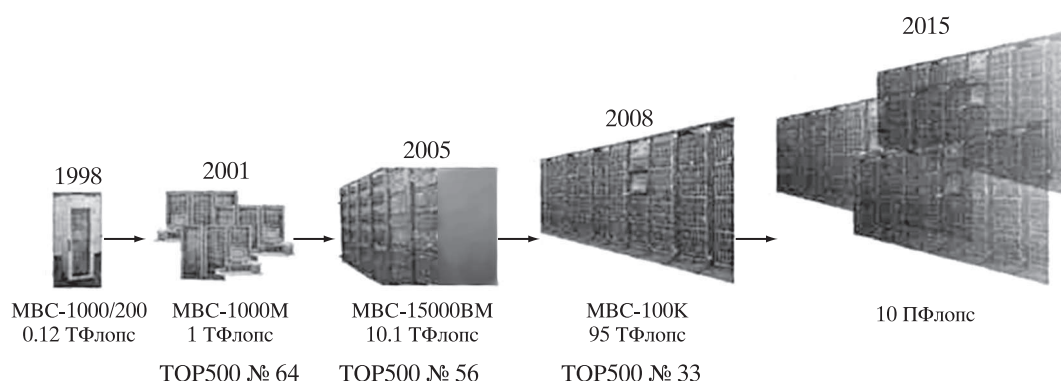


Рис. 2. Развитие компьютерных ресурсов Российской академии наук

Мы уже обсуждали на нашем собрании, как России выйти на экономический и социальный уровень ведущей мировой державы к 2020 г. Цель, конечно, прекрасная. Каждый из нас её поддержит. Но как это сделать? Прежде всего нам необходимо колоссальное увеличение производительности труда в 30–50 раз. Решить эту задачу можно, лишь опираясь на суперкомпьютерные технологии и их использование в науке, образовании и прежде всего в промышленности.

В России всё обстоит не так уж плохо, потому что имеется Российская академия наук и Межведомственный компьютерный центр (рис. 2). Сеть, которая существует на академической базе, связывает основные центры России в одно целое. Суперкомпьютер, который работает сегодня в академии, – это 7800 ядер, пиковая производительность 94 терафлопс. В РАН разрабатываются и другие типы суперкомпьютеров, в частности, известное направление “СКИФ”.

Производительность компьютеров “СКИФ” выросла с 0.7 гигафлопса до 47 терафлопс (установлен в МГУ).

Ещё целый ряд суперкомпьютеров используется в сфере образования. Нужно отдать должное инициативе вузов, Совету ректоров и Министерству образования и науки РФ. Сейчас установлены по крайней мере шесть довольно крупных суперкомпьютеров в системе образования.

В нашей стране созданы предпосылки для решения реальных практических задач. Например, моделирование обтекания самолета (рис. 3). Для расчёта распределения давления необходима сетка в 25 млн узлов и компьютер мощностью 25 терафлопс. Для решения задачи, связанной с необходимостью уменьшения шума (без этого наши самолёты не смогут летать за границей), требуется уже сетка в 300 млн узлов и компьютер мощностью в 100 терафлопс. Это работа Отделения математики РАН.

Ещё одна задача – проектирование атомной энергетической установки. Для её решения нужен компьютер производительностью порядка 1 эксафлопс. США планируют создать ЭВМ производительностью 1 эксафлопс к 2018 г., что вызовет у отечественных производителей серьезные трудности при продаже за границу высоко-“аналогичной продукции”. Если мы захотим продавать атомные станции, корабли или самолёты, то, скорее всего,

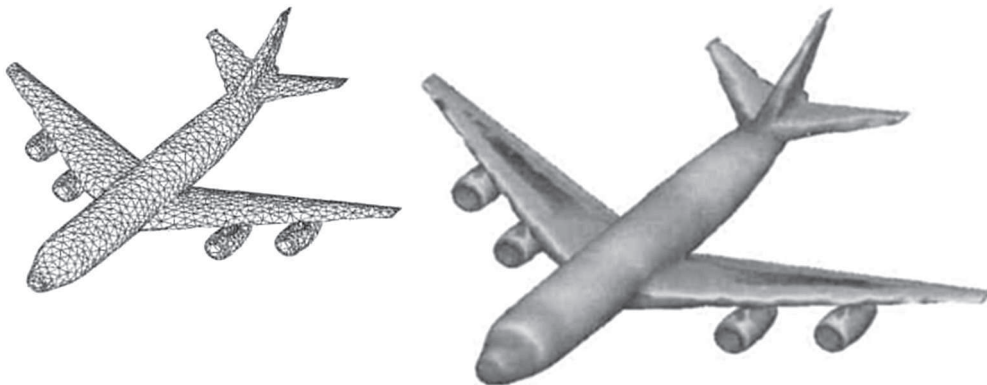


Рис. 3. Моделирование обтекания реального самолета

обязательным условием продажи будет представление результатов предсказательного моделирования. Нам придётся предоставлять заказчику (покупателю) не только документацию на само изделие, но и предсказательную модель.

Что касается моделирования энергетических установок, то оно делается на академическом кластере (Отделение математики РАН). Сетка – 10 млн ячеек, 10 терафлопс требуется для того, чтобы смоделировать процессы горения и детонации в трубопроводах.

Теперь о близких мне термоядерных реакторах. Здесь необходимо огромное количество новых материалов, поскольку диапазон температур простирается от 100 млн градусов в плазме до 4 градусов Кельвина в сверхпроводящих обмотках. Со временем нужно будет рассчитывать ещё и высокотемпературную сверхпроводимость, но пока нужна классическая сверхпроводимость. Криостат имеет следующие размеры: высота – 24 м, диаметр – 28 м. В его конструкции примерно 150 тыс. комплектующих. Несмотря на то, что изделие огромное, оно должно рассматриваться и как наноизделие, потому что в потоке нейтронов каждый атом в конструкциях термоядерного реактора будет испытывать примерно 150 тыс. смещений от положения равновесия за время жизни изделия. И поэтому необходимо предсказать, что будет происходить с такой конструкцией, состоящей из 150 тыс. элементов, которые собраны вместе и находятся в указанном диапазоне температур под воздействием мощного нейтронного потока.

В США сейчас выдвигается идея создать после Международного термоядерного экспериментального реактора установку, которая будет испытывать все компоненты на полный нейтронный поток. Думаю, что это практически невозможно. Для этого нужно слишком много денег, слишком много времени. Поэтому важная задача этого международного проекта, в реализации которого участвуют 34 страны, опять-таки, создание предсказательной компьютерной модели.

Самый трудный вопрос – плазма, хотя задача-то вроде элементарная: один электрон, один ион, протон, дейтон, классическая механика Ньютона или уравнение Максвелла. Но мы всё равно такую задачу решить сейчас не можем. Может быть, это удастся сделать на уровне петафлопной машины, которая

создаётся: собрать её, сделать сначала предсказательную модель поведения самой плазмы. Но, кроме поведения плазмы, нам нужно будет сделать предсказательную модель поведения всего реактора. Это и будет продукт 30-летней эпопеи, в которую мы сейчас вошли и которая будет стоить 10 млрд евро.

И наконец, о моделировании мирового климата. Известно, что происходит с ним сейчас. Для повышения точности при установлении реальных температур требуется вычислительная мощность 1-2 петафлопс для каждого из континентов.

Большое значение для медицины имеет моделирование фильтрации несжимаемой жидкости в пористой среде, в частности артериальной системе человека. Для детального трёхмерного моделирования требуется 1 эксафлопс.

Не имеет смысла много говорить о нанотехнологиях. Академик Ж.И. Алфёров уже говорил об этом. Но для того, чтобы можно было моделировать, что происходит в конкретных ситуациях (например, с остриём полевого эмиттера в процессе его эксплуатации), требуется производительность 25 терафлопс.

Несмотря на имеющиеся “точки роста” в науке и образовании сегодня суммарная производительность наших суперЭВМ составляет всего 215 терафлоп, то есть 1.2% от суммарной мировой производительности. Из этих 215 терафлопс только 5% используется в промышленности. Дело в том, что когда мы покупаем компьютер, он сразу начинает устаревать, так как в этой области прогресс очень быстрый. И мы не успеваем до морального устаревания аппаратуры подготовить и верифицировать нужный комплекс программного обеспечения. Для сравнения, суммарная производительность суперЭВМ США составляет 60% от мировой производительности – примерно 10 петафлопс, доля использования этих 10 петафлопс в промышленности – 50%. Тем самым, Россия отстаёт от США по производительности единичного суперкомпьютера в 10 раз, по суммарной производительности – в 100 раз, и в 1000 раз (что самое печальное) мы отстаём по использованию суперкомпьютеров в промышленности. Устранение такого отставания – одна из главных наших задач!

Предполагается, что нам всё-таки удастся договориться с правительством о Федеральной целевой программе перевооружения промышленности, науки и образования на основе массовых суперкомпьютерных технологий.

Если мы хотим продавать высокотехнологичные изделия, иметь атомные станции, авиацию, судостроение, то должно быть централизованное управление такой программой, как это делается в США. Это позволит добиться конкурентоспособности за счёт формирования крупных отраслевых национальных компаний на основе деятельности корпораций, которые сейчас создаются. И всё это нужно делать, используя государственное финансирование и государственную поддержку единой научно-технической политики с помощью законодательного обеспечения. В общественном сознании должен быть возрождён культ знаний в области точных наук; успешным инженерам, преподавателям, учёным должно обеспечиваться государственное и общественное признание, материальное благополучие, возможность масштабного технического творчества и вхождения во властные структуры.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ – ОТВЕТ НА ВЫЗОВ XXI ВЕКА

Академик К.Г. Скрябин

Прежде всего необходимо пояснить, что биотехнология не является ответом на вызов XXI в. Парадоксально, но в наши дни успехи биологических наук и биотехнологии сами по себе стали уникальным вызовом, обусловленным возникновением беспрецедентной возможности создания новых генетических программ. Именно на этот вызов человечеству надлежит дать свой ответ.

В недалёком прошлом, да ещё и сегодня, возведение мостов, конструирование самолётов и пароходов, строительство заводов – всё это было творчеством и созиданием, понятным любому и важным для жизни каждого. За последние десятилетия учёные осознали, что им подвластны те процессы, на которые были затрачены усилия Творца и миллионы лет эволюции. В их силах теперь создание и корректировка генетических программ, начертанных природой. Открывшиеся возможности фундаментальной науки и генной инженерии поразили современное общество, вынужденное теперь заново осмыслить прежние представления о формировании и функционировании живых организмов и их генетических основах.

В начале нового столетия биотехнология, опирающаяся на методы генной инженерии, стала одной из ключевых составляющих мировой экономики. Не случайно возникла формула “Экономика XXI в. – это биоэкономика, основанная на знаниях”.

Превратившись, по современной классификации, в “разноцветную”, биотехнология проникла во все сферы современной жизни. В зависимости от области применения её называют “красной” – медицинской, “зелёной” – сельскохозяйственной, “белой” – промышленной, “синей” – морской или “серой”, связанной с охраной окружающей среды.

Наиболее очевидна востребованность “красной” биотехнологии: за два предшествующих десятилетия она внесла неоценимый вклад в получение нового поколения эффективных лекарственных препаратов: от противораковых до антидиабетических.

Огромные средства, затрачиваемые во всём мире на биотехнологию, безусловно, оправдывают себя. Приходится, тем не менее, констатировать, что в России медицинская биотехнология развивается медленнее, чем за рубежом. Одной из возможных причин её отставания может быть исторически проследимое российское равнодушие к здоровью человека.

В свою очередь, сельскохозяйственные, “зелёные” биотехнологии, решающие в мире проблемы питания и экологии, фактически также направлены на улучшение качества жизни человека.

В химической и микробиологической промышленности биотехнологии успешно задействованы в производстве лекарств и биологически активных веществ. “Синие” биотехнологии актуальны в создании и поддержании аквакультур, оптимально использующих и восстанавливающих ресурсы океанов и морей.

Широкий диапазон применения биотехнологии, проникшей в сферу экономики, оказался благоприятным фоном для революционных открытий в биологии, сделанных за последние 10–15 лет и отмеченных почти 20 Нобелевскими премиями.

Генно-инженерное манипулирование, метод полимеразной цепной реакции, возможность конструирования скоростных секвенаторов и микрочипов – все эти технологии предопределили главные достижения мировой науки: прорыв в геномике и беспрецедентную по социально значимому потенциалу расшифровку генома человека, а также рождение новых наук – протеомики, метаболомики и транскриптомики, возникновение нового перспективного подхода к изучению живого с использованием данных системной биологии и биоинформатики.

Накопленные в чрезвычайно короткий срок, на перепутье двух веков, глубокие знания о человеке и генетике живых организмов поставили перед человечеством трудные задачи. Оно в очередной раз оказывается сейчас перед выбором между косностью и инертностью, с одной стороны, и активным восприятием и применением новых знаний – с другой.

Первый вызов человечеству, возникший как результат развития геномики, – это необходимость освоения чтения и анализа генетических текстов. Если мы не научимся читать, нам уготована судьба безъязыкого героя Редьярда Киплинга. Тот, кто сможет читать генетическую информацию, никогда не превратится в Маугли.

Второй вызов сродни обучению письму, когда ученик начинает складывать из букв слова и фразы и может воспроизвести их на бумаге. На языке генетики это означает переход к манипулированию известными генами и созданию новых генетических текстов, не существовавших ранее в природе. Такой технологический прорыв вызывает в обществе беспокойство и тревогу.

И, наконец, третий вызов. Как и в обыденной жизни, когда за освоением чтения и письма следует вхождение в систему образования, человечество должно перейти к созданию системы, которая позволила бы вносить в организм генетическую информацию, создавать новые организмы. Решающий ответ на вызов науки и века зависит от того, как человек сможет распорядиться результатами привнесения информации и оптимально её использовать. Оптимистичный прогноз предполагает в недалёком будущем освоение генотерапии, создание тканей и органов с необходимой архитектурой, расцвет трансплантологии.

Для иллюстрации всех этих процессов можно обратиться к простым примерам. Образно говоря, в геномах повсеместно окружающих нас микроорганизмов, в любом из них вся генетическая информация, определяющая его существование, составляет приблизительно 2.5 млн букв. Их столько же, сколько букв на страницах “Войны и мира” Льва Николаевича Толстого. Это поразительная и абсолютно точная аналогия – текст “Войны и мира” и генетический текст, заключённый в одном микроорганизме.

В геноме человека насчитывается 6 млрд букв: по 3 млрд от каждого из родителей. Это уже практически вся библиотека Толстого в Ясной Поляне. Её книги трудно даже бегло просмотреть. Для прочтения генома человека требовалось решить целый комплекс задач – информационных, биологических, технологических и др.

Около 10 лет ученые целенаправленно занимались детальным изучением генома человека.

На примере объединившего почти весь мир проекта видно неуклонное нарастание темпа работы. Сейчас в мире расшифрованы геномы шести человек. При этом, если на прочтение (в 2001 г.) первого генома было затрачено всё предыдущее десятилетие и 3 млрд долл., в 2007 г. чтение генома занимало уже только один год и стоило 200 млн долл. Сейчас расшифровка индивидуального генома возможна за 100 дней и её цена составляет 2 млн долл. В перспективе стоимость снизится до 1 тыс. долл., а чтение генома сократится до одного дня. Отказ от объёмной и тяжёлой устаревшей аппаратуры позволяет принципиально изменить подход к чтению генетической информации. Чтение единичных молекул – это и есть нанотехнология. К 2010–2012 гг. сделать это можно будет так же легко, как сейчас сдать анализ крови.

Каждый из нас обладает индивидуальной генетической информацией. Геномы разных людей не идентичны. Например, в генетической информации китайца и африканца имеются этнически обусловленные отличия из нескольких букв, нескольких фраз, нескольких предложений. К настоящему моменту в мире уже созданы генетические карты популяций, соотнесённые с их этнической принадлежностью.

Замена буквы в заглавии “Войны и мира”, например, “Война и мор”, абсолютно меняет его смысл. В упрощённой форме, иногда замена одной буквы в геноме может превратить здорового человека в больного, делая его генетически “иным”.

Сегодня мы работаем с миниатюрным чипом, на котором локализованы до 40 млн точек, позволяющих проводить генетическое тестирование. Взяв у человека анализ крови, с помощью чипа можно определить, есть ли ошибки в его генетическом материале, есть ли у него предрасположенность к каким-либо заболеваниям.

Мы начали сейчас пионерские исследования популяций, живущих за Уралом. Это единственное оставшееся “белое пятно” на генетической и этнической карте мира. Кроме западных учёных, активно работают в этой сфере китайцы и индийцы, составившие такие карты относительно населения Китая и Индии.

Подобных этно-генетических сведений о России до настоящего времени не было. Мы провели сравнительный генетический анализ группы уральских староверов и ныне живущих на территории Российской Федерации русских, казахов, бурятов, китайцев и якутов. На базе полученных данных впервые были построены многомерные генетические карты территории Сибири, выявлена строгая корреляция между географическими координатами обитания сибирских народов и структурой их генетической информации.

В генетических и этнических картах нуждается и Минздрав России, заинтересованный в выявлении людских популяций, предрасположенных к конкретным заболеваниям.

Без построения генетических карт и заполнения таким образом “белых пятен” на территории России мы не сможем идти в ногу с мировой наукой, включиться в создание мировой генетической карты.

Недавно мы приступили к совместной работе с лингвистами в аспекте сопоставления генетических расстояний с языковым распределением. Ока-

зывается, есть полное совпадение эволюции языков и эволюции генетических характеристик. Заманчивой перспективой сотрудничества может быть попытка осуществления обратного дрейфа – в сторону протоязыка (раннего проязыка) и проточеловека.

Теперь о болезнях. Одна из проблем сегодня – прогнозирование подверженности человека болезни и возможность управлять ею. Хочу привести только один яркий пример – это СПИД. При изменении рецептора в человеческих клетках вирус иммунодефицита человека утрачивает способность к связыванию с ними, и потенциальный больной не может быть инфицирован. Примечательно, что жители Исландии устойчивы к СПИДу, а все азиаты неустойчивы. Институт иммунологии Минздравсоцразвития России занимается этими вопросами. Оказалось, что поморы близки в этом аспекте к скандинавам. Распределение генетических характеристик людей разных национальностей – якутов, русских, казахов и т.д. – полностью соответствует географической картине. По результатам анализа крови можно точно локализовать местоположение национальности (в целом) на географической карте.

Сегодня уже возможно выявить предрасположенность человека к различным болезням – диабету, некоторым видам рака. Выдача рекомендаций пока ещё преждевременна, но соответствующая статистика уже имеется. В ближайшем будущем предполагаются следующие программы: в Китае в 2009 г. – 100 геномов, в Америке, Англии и в группе европейцев – 1000 геномов в 2010 г.

Я думаю, через несколько лет в мире, по-видимому, будет несколько центров хранения и переработки информации индивидуальных геномов человека. Очевидно, что такие центры появятся в Калифорнии, Новой Англии, Нью-Дели, в Китае, Мюнхене, Париже, Лондоне. Чрезвычайно важно, окажутся ли российские учёные среди умеющих читать геномную информацию.

Нельзя не остановиться на важной этической проблеме. Она возникает у любого человека при возможности получить результаты своего генетического анализа. Эта проблема прямо связана с правом человека на конфиденциальность прочитанной генетической информации. Захочет ли он, чтобы о результатах генетического тестирования знали его коллеги, знал его работодатель или страховые компании?

Поразительным достижением современной науки является возможность манипулирования генетическими текстами. Сегодня учёные могут создавать их сами, например, для микроорганизмов.

Мой учитель, академик Александр Александрович Баев, называл микроорганизм “маленьким химическим заводом”, что 20 лет тому назад было неким прозрением. Ныне человечество использует огромное количество микробов. Прочитав геном одного из них, можно манипулировать им, как в “лего”: один ген вносить в геном, другой – убирать. По сути дела, речь идёт о рукотворном мини-заводе.

Мы, например, расшифровываем сейчас геномы трёх-четырёх микроорганизмов в неделю. В течение последних нескольких месяцев была проделана следующая работа. Из коллекции Института микробиологии РАН, собранной за многие годы, были взяты и расшифрованы первые 10 микроорганизмов, то есть их генетическая информация стала известна в полном объёме.

ёме. Это открывает прямой путь к целенаправленному созданию (с участием микроорганизмов) катализаторов путём изъятия гена, наработки его продуктов, кристаллизации и получения структуры катализатора. Синхротронное излучение позволяет быстро и эффективно формировать любые структуры, исходя из генетической информации, по схеме “генетическая информация–производство–кристаллизация–структура”. Эти работы сейчас проводятся в Курчатовском центре синхротронного излучения, который мобилизует десяток российских институтов.

Теперь о том, что у всех на слуху, – о стволовых клетках. Все о них слышали, но мало кто понимает, что это такое. Известно, что если взять какую-либо клетку растения (листа, корня и т.п.) и внести в неё генетическую программу, можно вырастить целое растение. Если на ранних стадиях развития изъять клетку из эмбриона человека, то после дифференцировки из неё можно получить клетки любой ткани, любого органа. Вместе с тем весь мир сегодня обсуждает проблему допустимости утилитарного использования клеток человеческих эмбрионов, пристально отслеживая альтернативные мнения учёных, медиков и философов, а также безоговорочные запреты различных конфессий и прецеденты ограниченных разрешений (английское законодательство, калифорнийское законодательство и др.)

Для того чтобы избежать этических ограничений, можно воспользоваться соматической клеткой человека, например, клеткой кожи, и из неё в результате дифференцировки также получить клетки любых органов и тканей, например, нервные клетки, что открывает путь к лечению нейрозаболеваний. Это абсолютно революционная вещь. В будущем из соматической клетки человека можно будет вырастить клетки сердца и в случае инфаркта имплантировать их больному. Протезирование органов, которым человечество будет заниматься в течение последующих нескольких лет, в дальнейшем расширится до настоящей индустрии. В результате возникнет принципиально новая, персональная и прогностическая, медицина, основанная на знаниях генетической предрасположенности пациентов к болезням и точной диагностике.

В итоге сегодня мы имеем принципиально новую парадигму развития человечества в XXI в., возникшую на основе главных вызовов – последних достижений биологии (клеточная биология, технологии чтения и сохранения генетической информации, создание генетических программ, перспектива замены органов выращенными из соматических клеток), успехов агробиологии (многообещающие генно-инженерные технологии в сельском хозяйстве, создание растений с новыми генетическими текстами), зарождения персональной, прогностической и профилактической медицины.

Человечество должно придумать, как реагировать на все проблемы, связанные с новой парадигмой, как отвечать на этические, этнические и исторические проблемы, сопутствующие научно-технологическому прорыву. Необходимо полное изменение подходов к вызовам века, иначе мы не сможем справиться с ними. Ответ придётся держать не через 100 лет, а в ближайшее десятилетие. По моему мнению, единственный адекватный ответ на вызовы биотехнологии XXI столетия – это гуманитарная революция.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА НА ПЕРСПЕКТИВНУЮ СТРУКТУРУ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ

Академик В.В. Ивантер

Я вынужден некоторым образом изменить свой доклад. Предполагалось, что он будет посвящен сдвигам технологического прогресса, влияющим на экономику. Однако все мы понимаем, что технологический прогресс влияет на экономику только на траектории экономического роста. На траектории экономического спада никакой прогресс не работает. Поэтому вначале я расскажу о том, как мы вычисляем вклад технологического прогресса в российскую экономику, а потом уделю внимание тому, что происходит сегодня: актуальны ли такие расчёты и оценки, и в каком состоянии находится наша экономика.

Все наши прогнозы относительно влияния технологий на развитие экономического роста оправдались для 2007 и 2008 гг. (табл. 1). Единственное, что нужно объяснить, – это динамика инвестиций в основной капитал. Они, естественно, снижаются по мере достижения насыщения и обновления основных фондов. Кроме того, следует учитывать, что прирост в 5% к 2025 г. по своим масштабам будет существенно выше, чем аналогичный прирост в 2007 г.

Весь прирост обеспечивается такими ключевыми качественными показателями экономической эффективности, как энергоёмкость, электроемкость и продуктивность по первичным ресурсам. Производительность труда растёт в 4 раза (табл. 2).

Несколько слов по поводу популярных оценок об отставании в производительности труда и производительности других факторов. Обычно утверждается, что у нас по целому ряду направлений разрывы в производительности по сравнению с развитыми странами составляют 10–15–20 раз и более. Если ли бы это на самом деле было так, то наши дела выглядели бы относительно неплохо, потому что такой разрыв легко преодолим. Просто надо одну технологию полностью заменить другой, и будет рывок вперед. Но штука в том, что наше отставание обычно составляет 10–15–20%, которые и определяют недостаточную конкурентоспособность. И именно достижение последних процентов, последний технологический рывок – это самое тяжёлое. Здесь нет готовых решений, в каждом случае свои причины отставания, тут всякий раз надо разбираться с целым комплексом проблем.

Я думаю, что неплохим показателем реальной продуктивности нашей экономики по первичным ресурсам является положение дел в добывающих отраслях и сельском хозяйстве. Отмечу, что здесь продуктивность у нас в целом выглядит весьма прилично. Особенно если учесть уровень используемых технологий.

Что касается отраслевой структуры (табл. 3), то в данном вопросе довольно часто тиражируется одно принципиальное заблуждение: утверждается, что основная наша беда – это зависимость от топливно-сырьевых ресурсов. Я же убеждён: такой зависимости нет, и это одно из главных наших преимуществ. В действительности наша зависимость относится не к топливно-энергетическим ресурсам, где мы независимы, а к продовольствию, где мы зависимы. Это первое.

Таблица 1

Среднегодовые темпы прироста ВВП и составляющих конечного спроса, %

	2007–2010	2011–2015	2016–2020	2021–2025	2025–2030
Потребление домашних хозяйств	10.6	9.8	8.6	7.3	6.1
Государственное потребление	3.3	3.2	3.0	3.0	2.8
Инвестиции в основной капитал	12.4	8.8	7.5	6.2	5.0
Экспорт	4.9	5.7	5.3	4.9	4.3
Импорт	14.7	11.8	9.0	6.4	3.9
ВВП	6.2	6.1	6.1	6.1	6.1

Источник: Институт народнохозяйственного прогнозирования.

Таблица 2

Ключевые показатели эффективности экономики, 2007 г. = 100%

Показатели	2007	2010	2015	2020	2025	2030
Энергоемкость	100.0	89.7	75.3	62.7	51.3	41.5
Электроёмкость	100.0	91.4	81.7	72.5	63.4	54.4
Продуктивность по первичным ресурсам	100.0	108.0	123.5	140.4	158.0	175.2
Производительность труда	100.0	118.4	160.4	219.0	300.0	410.6

Источник: Институт народнохозяйственного прогнозирования.

Таблица 3

Отраслевая структура производства, %

Отрасли	2007	2010	2015	2020	2025	2030
Добыча полезных ископаемых	8.1	7.4	6.2	5.3	4.5	3.8
Обрабатывающие производства	29.5	30.3	31.6	32.8	34.0	35.0
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	4.6	4.4	4.1	3.8	3.5	3.3
Строительство	6.1	6.9	7.6	8.2	8.7	9.0
Сельское и лесное хозяйство, охота и рыболовство	4.4	4.2	3.9	3.6	3.4	3.3
Транспорт и связь	8.9	8.7	8.5	8.4	8.3	8.2
Прочие услуги	38.4	38.1	38.1	37.9	37.7	37.4

Источник: Институт народнохозяйственного прогнозирования.

Второе – проблема счёта. По нашим стандартным оценкам, в высокотехнологичные отрасли входят связь и телекоммуникации; финансы и страхование; производство фармацевтической продукции, офисного оборудования, вычислительной техники; радио, телевидение; изделия медицинской техники, летательных аппаратов, включая космос; исследовательские разработки, компьютерные и сопутствующие услуги (табл. 4).

У нас получается так: чем выше добыча нефти, тем хуже состояние экономики. Но правильно ли мы считаем, правильно ли намереваемся изменить

Таблица 4

Структура производства по технологическому уровню, %

Структура	2007	2010	2015	2020	2025	2030
Высокотехнологичные отрасли	6.6	6.9	7.6	8.4	9.2	10.0
Среднетехнологичные отрасли высокого уровня	10.1	10.6	11.4	12.2	12.9	13.7
Доля инновационного сектора в общей структуре производства	16.7	17.6	19.0	20.6	22.1	23.7
Доля инновационного сектора с учетом сырьевых отраслей	17.5	18.9	20.6	22.3	24.0	25.7

Источник: Институт народнохозяйственного прогнозирования.

удельные веса отраслей? Пример такой: сегодня извлекаем из месторождений менее 40% нефти. Этот процент при нынешнем уровне уже внедрённых в мире технологии можно довести примерно до 60%. Это можно сделать только за счёт мощного инновационного прорыва. А какой будет макроэкономический результат? 150–200 млн т нефти дополнительно. Формально доля сырья опять вырастает, но ведь за счёт применения высоких технологий. Хорошо это для нас или плохо?

Таким образом, мы имеем полное право включать в инновационную динамику внедрение новых технологий, обеспечивающих расширение производства в сырьевом секторе. Кроме того, наш сырьевой сектор имеет ещё одно важное экономическое преимущество. Это платёжеспособный сектор, который способен самостоятельно профинансировать инновации.

Помимо этого, надо смотреть на индексы полной материалоёмкости ВВП, которые сложились к 2007 г. (табл. 5).

Если мы возьмём 1990 г. за единицу отсчёта, то увидим, что с тех пор в российской экономике имел место несомненный и при этом сбалансированный рост эффективности использования сырья и первичных материалов. Почему такой рост имел место? Это было связано с жёсткой выбраковкой неэффективных производств в эти годы. Она, конечно, была проведена не лучшим образом, но факт остается фактом – сейчас функционируют в среднем более эффективные мощности, чем 17 лет назад.

Все эти результаты мы получаем с помощью модельного комплекса, состоящего из системы межотраслевых макроэкономических и эконометрических моделей, который позволяет получить согласованные количественные оценки динамики и структуры производства на долгосрочную перспективу. Эти модели предназначены для расчёта различных сценариев на основе информации об основных макроэкономических пропорциях, ограничениях, эластичностях и т.д. При этом мы публикуем не только полученные прогнозные числа, но и всю информацию о методике расчётов, о структуре моделей. У любого есть возможность зайти на сайт Института народнохозяйственного прогнозирования РАН, воспроизвести все расчёты, которые были сделаны нами, и проверить их.

Теперь о том, что нас ожидает. В ноябре 2008 г. промышленность, по сравнению с ноябрём 2007 г., “сбросила” 8.7%. Однако количество рабочих дней в ноябре 2007 г. было на два больше. Поэтому интереснее знать отношение

Таблица 5

**Индекс полной материалоемкости ВВП (2207 г. = 1)
(по отдельным видам экономической деятельности)**

Виды экономической деятельности	1990	2000	2007	2020	2030
Сельское и лесное хозяйство, охота и рыболовство	1.34	1.16	1.00	1.06	1.02
Добыча сырой нефти	1.14	1.05	1.00	0.82	0.73
Добыча угля	1.24	1.20	1.00	0.77	0.58
Добыча прочего топлива	1.64	1.11	1.00	0.94	0.89
Добыча металлических руд	2.58	1.03	1.00	0.96	0.91
Производство нефтепродуктов	1.41	1.13	1.00	0.78	0.61
Черная металлургия	1.15	1.07	1.00	0.70	0.49
Цветная металлургия	1.73	0.89	1.00	0.99	0.87
Производство и распределение электроэнергии	1.36	1.27	1.00	0.77	0.61
Производство машин и оборудования	0.79	0.88	1.00	1.13	1.07

Источник: Институт народнохозяйственного прогнозирования.

месяца к месяцу. Так вот, по сравнению с октябрём сброс промышленности достиг почти 11%, и это давало некоторое основание утверждать, что экономика вступила в стадию рецессии.

Но по одному или даже двум месяцам вообще ничего сказать нельзя, это безграмотно. Другой вопрос: произошло ли что-то неожиданное? Я полагаю, что всё, что произошло в ноябре, было ожидаемо. Да, действительно, в пяти секторах произошёл спад. Первый сектор – металлургия. По железной руде – спад порядка 46%, по коксу – 30%, по прокату чёрных металлов – 30%, по листу – 40% с лишним, по трубам – 35%. Аналогичные цифры и по цветной металлургии.

Второй крупный сектор – производство минеральных удобрений и сырья для них. Добыча апатитового концентрата – минус 56%, аммиака – минус 26%, собственно минеральных удобрений – минус 42%.

Третий кризисный сектор – производство целлюлозы, которое сократилось на 54%.

Проблема в том, что упал внешний спрос. Ожидаемая ли это была вещь? Конечно, ожидаемая. Потому что цены мировых рынков на металлы, нефть и некоторые другие продукты давно оторвались от показателей производственной себестоимости и гораздо больше определялись спекулятивной игрой, чем спросом со стороны реального сектора. Производители не должны были верить этим ценам и втягиваться в эту гонку. Кроме того, надо было думать и о внутреннем рынке, целенаправленно “выращивать” его, чтобы иметь вторую опору для долгосрочного развития.

В 90-е годы металлургия спаслась вопреки логике, хотя должна была умереть. А она спаслась за счёт внешнего рынка. Но сейчас внешний рынок сам находится в плохом состоянии. Однако, к сожалению, ни металлургия, ни основная химия ничего не делали для того, чтобы создать условия для развития внутреннего рынка.

Затем спад произошёл ещё в двух секторах. Это стройматериалы: цемент – на 30%, пиломатериалы – на 20%, а также инвестиционное машино-

строение, причём здесь спад довольно существенный: трактора колёсные – на 70%, ремонтирующие станции – на 33%, жилищные проекты – на 32%, прокатное оборудование – на 25, грузовые автомобили – на 42%.

Здесь произошло следующее: экономика сейчас находится в некоей задумчивости по отношению к будущему. Все размышляют, появится ли дополнительный спрос внутри страны или нет? Сейчас вроде бы объявлено, что мы будем продолжать заменять сжавшийся внешний спрос дополнительной инвестиционной активностью в национальной инфраструктурной сфере. Но что-нибудь было сделано в этом направлении? Пока ничего.

Можно ли считать, что мы достигли дна?

Что касается металлургии, то я думаю, что дальше падать она не будет, потому что внутренний рынок металла пока работает более или менее нормально. Проблема восстановления объёмов производства заключается в том, чтобы внутренний рынок стал требовать больше металла. На это нужны деньги, а для использования денег нужен, кстати, план. Этого плана металлургии до сих пор не имеют, и потому государство не знает, чего они, собственно, хотят.

Тем не менее поддержка металлургии – очень важная задача. Потому что, если мы металлургию потеряем, то мы потеряем шанс на экономический рост в обозримой перспективе. В некотором смысле, металлофонд важнее для страны, чем золотой запас.

Что касается минеральных удобрений, то здесь проблема несколько глубже. Без больших затрат на внутреннем рынке в этой отрасли ничего не сделаешь. Мы потеряли всю инфраструктуру по внесению удобрений в почву – логистику, склады, спецтехнику и т.д. Её придётся воссоздавать с нуля. Но если мы это сделаем, то решим одновременно и проблемы химии минеральных удобрений, и проблемы, связанные с обеспечением страны продовольствием.

По этим двум экспортно-ориентированным отраслям, на мой взгляд, нет проблемы поиска решений. Эти решения достаточно просты – нужно разработать план замены внешнего спроса на внутренний и реализовать его.

Теперь по строительству. Ясно, что одна часть строительства – промышленная – остановилась из-за неопределённого экономического будущего. Но есть ещё и жилищное строительство. Остановка жилищного строительства в Москве никакого отношения к кризису не имеет. Московские девелоперы, как мы их теперь именуем, вели себя абсолютно не рыночно. Они загнали цены на такую высоту, что в итоге потеряли весь спрос. И спад по вводам жилья в Москве начался уже в первой половине года – задолго до начала финансового кризиса.

Инвестиционное машиностроение находится в наиболее сложной ситуации. Оно завязано на проблеме инвестиций. Я согласен с тем, о чём говорил здесь А.Д. Некипелов. О том, что необходимо разменять налоги для нефтяных компаний на инвестиции и это нужно сделать достаточно быстро.

В этой связи хотел бы обратить внимание на один миф. Он заключается в том, будто бы цены на нефть являются для нас исключительно важными с фискальной точки зрения. На самом деле наполнение бюджета за счёт налогообложения нефтянки в данном случае – вещь второстепенная. Особенно, если вспомнить, что бюджет получает от экспорта нефти и газа весьма ограниченные суммы, а основная доля доходов уходит в разного рода резервные фонды. Поэтому, если себестоимость добычи барреля нашей нефти с транс-

портом в среднем обходится в 15 долл. за баррель, то бюджет будет получать своё и при 35, и при 30 долл. за баррель на мировых рынках.

Однако есть ещё проблема стратегического выбора. Если вы уверены, что цена на нефть в 140 долл. за баррель будет стабильной, то вам уже пора инвестировать в разработку нефтяных сланцев. Но если цена может упасть ниже 50 долл., то неясно даже, имеет смысл лезть с инвестициями на арктический шельф или нет. Таким образом, ясность по мировой цене на нефть важна прежде всего с точки зрения долгосрочного развития.

Конечно, следует отдавать себе отчёт в том, что составление прогнозов по мировой цене на нефть в значительной мере зависит от политических интересов. Я думаю, многие помнят, что где-то в начале 80-х годов аналитические структуры ЦРУ предсказывали для России 2000 г. как год превращения в чистого импортёра нефти. И то, что этот прогноз и близко не подошёл к реальности, означает, что это была чистая политика.

А можно было бы избежать того, что произошло? Что касается шокового сжатия внешнего спроса, то этого избежать было практически невозможно. Но в этой истории есть и другая проблема.

Когда для экономического роста не хватает реальных материальных активов, я это понимаю. Но когда для роста не хватает денег, то это некая глупость, ведь деньги мы, упрощённо говоря, рисуем. Что произошло-то, почему денег не хватило? А денег не хватило по понятным причинам – потому что мы свои запасы отправляли в Соединенные Штаты. И дело не в том, что мы якобы финансировали экономику США. Мы отдали им только маржу – разницу между процентами за наши депозиты, размещённые там, и процентами за кредиты, которые наши корпорации получали у них же.

Проблема в том, что мы вынули деньги из нашей экономики в надежде на то, что их банки, прокредитовавшие наши корпорации под залог наших же депозитов, будут следить за эффективностью расходования средств. И это, дескать, будет правильным способом финансирования нашей экономики. Но иностранцы решать проблемы нашей финансовой системы, естественно, не стали. Им было вполне достаточно иметь от нас гарантийное обеспечение. А сами мы тоже свою финансовую систему не развивали. Вот и получили сейчас то, что получили: деньги есть, из резервов их пытаются перебросить в помощь реальному сектору, а наша банковская система справиться с задачей не может.

Что выяснилось в этой связи, какие появились претензии? Претензии следующие. Оказывается, банкам дали деньги, а банки загнали их в валюту. А что они должны были сделать? Им же дали деньги не бесплатно, им дали деньги под достаточно высокий процент, предполагая, что они завтра передадут полученные кредиты реальному сектору. На каких основаниях, под какие гарантии?

Если бы мы в этих условиях отдали деньги напрямую реальному сектору, то что получилось бы? Реальный сектор сделал бы ровно то же самое – перевел бы их в валюту. Проблема не в злонамеренности банков и предприятий, она совершенно в другом.

В течение 20 лет я говорю, что у нас есть ставка рефинансирования, а самого рефинансирования нет. Нет!

А ведь мы могли бы подготовиться к такой ситуации заранее. Посмотрите, если, скажем, военные имеют какие-то резервы, то у Генерального штаба

есть план использования этих резервов. Хороший ли, плохой, но план есть. У Министерства по чрезвычайным ситуациям тоже есть план на случай форс-мажорных событий.

А у нас были резервы в полтриллиона с лишним долл., запасаемых именно на экстренный случай, но плана их использования не было. И сейчас мы раздаём деньги в спешке, на ходу, без подготовки. Естественно, это даст реальную отдачу не сразу.

В этом смысле развитие событий в экономике зависит от следующего. Если нам удастся быстро, я подчеркиваю, быстро, внедрить в практику нормальные технологии рефинансирования и поддержания ликвидности, то у нас есть все основания уже в первом квартале 2009 г. уйти с траектории падения.

Теперь по перспективным темпам. Заметьте, наша экономика в данный момент не имеет особых ограничений по металлам, энергии, транспорту, деньгам и даже труду. Странно в этих условиях не иметь экономического роста.

Поэтому мы считаем, что на следующий год можно ожидать рост валового внутреннего продукта. Не совсем на том уровне, который наш институт прогнозировал раньше (мы прогнозировали прирост в 7%). Скорее, прирост будет близок к предыдущей версии прогноза Министерства экономического развития. Речь идёт о вилке между 4.5% и 5.5%.

Я в данном случае ничего не предсказываю, потому что так же, как и вы, не знаю, как будет развиваться ситуация с мировой валютной системой, что будет с ценами на наши экспортные товары, что будет делать наша власть. Но ещё раз подчёркиваю, что основания для того, чтобы иметь такой рост, у нас есть.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА Ю.С. ОСИПОВА

Мне представляется, что нынешняя научная сессия оказалась интересной и содержательной. Прозвучавшие здесь замечания и предложения необходимо учесть при дальнейшем уточнении прогноза развития страны до 2030 г.

Во вступительном слове я упоминал, что работа над прогнозом началась в Академии наук задолго до кризиса, во всяком случае, до его проявления в России. Это было поручение Президента РФ. Поэтому видение проблемы несколько отличалось от того, которое сложилось к настоящему моменту, о чём говорили академики А.Д. Некипелов и В.В. Ивантер.

Надо сказать, что любой прогноз – это живой организм, его нужно постоянно уточнять, корректировать, дорабатывать. Думаю, нужно отфильтровать наши эмоции и не упустить важные, принципиальные соображения, которые здесь высказывались.

Мы видим – и научная сессия это подтвердила – какими гигантскими темпами развивается современная наука, как много возникает новых идей. Но мы ни в коей мере не должны упускать из виду ответственность, которую несём за последствия использования новых разработок, технологий – последствия, которые сказываются в жизни общества, человека. Это очень

серьёзные вопросы, отмахиваться от них нельзя. Мы сегодня об этом практически не говорили, потому что здесь очень много неизведанного. Например, совершенно непонятно, могут ли новые генетические конструкции видоизменяться непредвиденным образом, не вызовут ли они в отдалённом будущем возникновения необратимых негативных эффектов. Этими вопросами нужно заниматься. В частности, проблемы биоэтики не менее важны, чем задача разработки новых идей и концепций. Это в общем ко всей науке относится. Сейчас сложилось очень опасное положение, когда в угоду рынку, ради наживы можно совершить непростительные действия, последствия которых придётся преодолевать нашим потомкам. Надо постараться этого не допустить.

**О НАУЧНОЙ СЕССИИ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
“НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ –
ВАЖНЕЙШИЙ ЭЛЕМЕНТ СТРАТЕГИИ
РАЗВИТИЯ РОССИИ”**

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РАН

Общее собрание Российской академии наук, обсудив состояние, проблемы и перспективы научно-технологического прогнозирования как важнейшего элемента стратегии развития России, отмечает, что долгосрочный прогноз развития инноваций и технологий необходим для обоснованного выбора приоритетных направлений фундаментальных исследований и перспективных конкурентоспособных технологий, и, в конечном итоге, является основой стратегии развития инновационной экономики в стране.

В соответствии с поручением Президента Российской Федерации Д.А. Медведева учёные академии провели исследования и подготовили доклад о прогнозе научно-технологического развития страны до 2030 г. В разработке Прогноза-2030 приняли участие учёные РАН, РАМН, РАСХН, РААСН, а также РКК “Энергия” и Госкорпорации “Росатом”. Основной целью подготовки Прогноза-2030 является выработка научно обоснованных представлений о путях научно-технологического развития страны с учётом задач, решение которых намечено инновационным сценарием Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации.

При разработке Прогноза-2030 были выявлены проблемы, требующие специального рассмотрения и принятия соответствующих решений руководством страны. К ним, в частности, относятся:

отсутствие единой системы прогнозирования социально-экономического и научно-технологического развития страны;

слабое привлечение академического сообщества к решению задач прогнозирования;

отсутствие современной научно-методологической базы прогнозирования.

Впервые за последние более чем 20 лет в России под эгидой академического сообщества были организованы исследования такого масштаба. Российская академия наук рассматривает проведение прогнозных исследований как один из приоритетов своей деятельности, как продолжение традиций экспертного прогнозирования, заложенных в 1972–1980 гг. выдающимися учёными Академии наук СССР под руководством академика В.А. Котельникова при разработке Комплексных программ научно-технического прогресса.

В ближайшее десятилетие России предстоит построить новую экономику, способную стать фундаментом её общественного благосостояния и оборонной мощи. Наличие передовой научно-технологической сферы – первоочередное условие решения этой задачи.

Российская академия наук считает, что должна быть создана единая система государственного прогнозирования, с помощью которой государственная власть смогла бы на научной основе определять приоритеты стратегического развития страны. Первым шагом к созданию такой системы может послужить образование на базе академии Межведомственного координационного совета РАН по социально-экономическому и научно-технологическому прогнозированию, в состав которого должны войти представители научного сообщества и федеральных органов исполнительной власти.

Общее собрание Российской академии наук ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Считать работу в области научно-технологического прогнозирования одним из приоритетных направлений деятельности Российской академии наук.

2. Одобрить инициативу Президиума РАН о создании Межведомственного координационного совета РАН по социально-экономическому и научно-технологическому прогнозированию.

3. Поручить Президиуму Российской академии наук:

обратиться в Правительство Российской Федерации с предложением о создании единой системы государственного прогнозирования с целью возможности определения на научной основе приоритетов развития страны;

разработать План мероприятий по выполнению настоящего постановления Общего собрания РАН с учётом предложений, высказанных в ходе обсуждения докладов;

издать материалы научной сессии Общего собрания Российской академии наук “Научно-технологический прогноз – важнейший элемент стратегии развития России”;

проинформировать заинтересованные федеральные органы исполнительной власти об итогах работы научной сессии Общего собрания РАН “Научно-технологический прогноз – важнейший элемент стратегии развития России” и предлагаемых Российской академией наук мероприятиях.

*Президент Российской академии
наук академик Ю.С. ОСИПОВ*

*Главный учёный секретарь
Президиума Российской академии наук
академик В.В. КОСТЮК*

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК**

**“Мозг: фундаментальные
и прикладные проблемы”**

15–16 декабря 2009 года

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА Ю.С. ОСИПОВА

В регламенте Общего собрания произошли некоторые изменения, связанные с тем, что сегодня в главном здании Президиума состоится встреча руководства Академии наук с Президентом страны. Кроме того, с повестки собрания снят вопрос о поправках к Уставу РАН, поскольку законодательные акты, касающиеся государственных субсидий и государственных заказов, ещё не приняты.

Тема нынешней научной сессии – “Мозг: фундаментальные и прикладные проблемы”. Как известно, мозг является одним из важнейших объектов современных исследований. В начале 1990-х годов даже была объявлена “Всемирная декада мозга”. В Соединённых Штатах Америки, во многих странах Европы, Японии и Китае было значительно увеличено бюджетное финансирование исследований в этой области, организованы новые институты, центры, лаборатории, созданы специальные программы и фонды. В самое последнее время Соединённые Штаты объявили об инициировании очередной десятилетней программы, которая называется “Мозг”, в центре внимания которой будет изучение человеческого разума, сознания, подсознания. То есть мировая научная общественность проявляет очень большой интерес к исследованиям мозга.

Мощная поддержка нейронаук во всём мире нацелена не только на получение фундаментальных знаний о механизмах работы мозга, но и на решение практических задач медицины. По прогнозу Всемирной организации здравоохранения, число страдающих заболеваниями нервной системы, в первую очередь депрессиями, в ближайшие 15 лет может превысить число больных наиболее распространёнными в настоящее время сердечно-сосудистыми и онкологическими заболеваниями. Тяжёлыми для больных и обременительными с экономической точки зрения для государства являются острые (инсульты) и хронические (болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона и ряд других) неврологические и психические заболевания, которыми страдают сейчас миллионы людей.

Последовательное и существенное государственное стимулирование развития нейронаук принесло хорошие плоды. Последние два десятилетия отмечены рядом выдающихся открытий, которые позволили в значительной степени приблизиться к раскрытию некоторых тайн работы мозга. Например,

было показано, как работает генетическая программа развития мозга в онтогенезе, и подтверждено, что в её реализации важную роль играют межклеточные химические вещества, которые синтезируются в клетках развивающегося организма. Современные молекулярно-биологические подходы позволяют определить гены, мутация которых приводит к образованию белков при патологических состояниях или нарушению синтеза функционально значимых белков, обуславливающих развитие нервных и психических заболеваний.

Понимание молекулярных механизмов патологии мозга открывает большие перспективы для разработки новых подходов к диагностике и лечению нервных и психических заболеваний. Большую роль в изучении молекулярных механизмов деятельности мозга человека в норме и патологии сыграли новые неинвазивные нейровизуальные методы исследования, в том числе позитронно-эмиссионная томография. Этот метод оказался особенно перспективным с точки зрения картографии физиологических процессов, связанных, в частности, с когнитивными функциями.

Большие надежды возлагаются на развитие клеточных технологий и возможность их использования для лечения болезней мозга, обусловленных утратой определённой группы нейронов, например при болезни Паркинсона. Однако первые попытки применить эмбриональные нейроны для лечения нейродегенеративных заболеваний пока не принесли ожидаемого результата. Сейчас ведутся экспериментальные исследования, направленные на усовершенствование этой технологии, но о клиническом её применении говорить пока рано. Нейронауки важны как с точки зрения получения новых фундаментальных знаний о функционировании мозга, так и для разработки на основе современных молекулярно-биологических подходов эффективных методов диагностики и лечения тяжелейших заболеваний нервной системы.

Сегодня у нас есть возможность прослушать доклады, в которых будет дана профессиональная оценка современных достижений как отечественных, так и иностранных учёных в области нейронаук, проанализировать перспективы развития исследований мозга в нашей стране.

Несмотря на то, что первый этап Всемирной декады мозга пришёлся на 1990-е годы, когда наша страна находилась в очень тяжёлом положении, и это естественным образом проецировалось на Академию наук, в институтах и лабораториях РАН, занимающихся исследованиями мозга, удалось сохранить научный потенциал и традиции, заложенные такими выдающимися нашими предшественниками, как И.М. Сеченов, И.П. Павлов, В.М. Бехтерев, и их последователями – Л.А. Орбели, А.Р. Лурией, В.Н. Черниговским, П.К. Анохиным, Н.П. Бехтеревой и другими известными учёными, в том числе и присутствующими сегодня в этом зале.

Состояние и перспективы развития биологических и медицинских наук в нашей стране, как вы помните, обсуждались в 2003 г. на совместной научной сессии нашей Академии наук с Академией медицинских наук и другими государственными академиями. Тогда же были организованы специальные программы фундаментальных исследований Президиума РАН и её отделений. Эти программы, в первую очередь “Фундаментальные науки – медицине”, успешно использовались для поддержки междисциплинарных исследований мозга, позволили привлечь к участию в них высококвалифицированных специалистов из восьми отделений академии: нейробиологов,

нейрофизиологов, химиков, физиков, математиков, специалистов в области информационных технологий и гуманитарных наук. Таким образом, проблема исследования мозга – яркий пример междисциплинарного подхода в решении поставленных задач.

В период кризиса мы должны особенно внимательно анализировать конкурентоспособность нашей науки по различным направлениям и её информационный потенциал, выделять стратегические направления фундаментальных исследований, которые в перспективе способны обеспечить не только получение новых знаний, но и разработку новых технологий. В течение двух дней мы будем иметь возможность оценить с этих позиций результаты и перспективы нейронаук.

Нынешняя научная сессия не совсем обычная. Дело в том, что нам предстоит решить организационный вопрос, связанный с избранием академиков-секретарей двух отделений. Вы знаете, что в своё время мы не избрали академика-секретаря Отделения биологических наук и академика-секретаря Отделения общественных наук. Сейчас эти отделения провели выборы, и мы, в соответствии с Уставом, должны утвердить избранных ими кандидатов.

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ О МОЗГЕ

Академик М.А. Островский

Я назвал свой доклад “Актуальные направления современной науки о мозге”. Не наук, а именно науки, чтобы подчеркнуть, что наука о мозге едина. Она включает не только физиологию, но практически все биологические и ряд медицинских дисциплин, а также физику с её выдающимися техническими достижениями, химию с её безграничными возможностями синтеза новых препаратов (важно только знать, что синтезировать). Она включает математику и информатику, ибо настало время попытаться систематизировать огромный массив накопленных данных и построить, хотя бы в первом приближении, информационную теорию мозга. И, несомненно, наука о мозге включает психологию и философию. Историческая спираль познания мозга идёт от философии – от философии древних греков, рассуждений Платона о “духе и теле”. Долгий путь философии привёл к психологии, которая как научная дисциплина оформилась лишь к середине XIX в. Психология стимулировала становление физиологии мозга. Современная же физиология мозга на очередном витке спирали вновь привела к психологии и философии. И снова возникает извечный философский вопрос о том, материальна или идеальна мысль как продукт деятельности мозга – во всяком случае, в её высшей творческой форме.

Что касается физиологии, то одними из первых, кто начал перекидывать мост от физиологии к психологии, были наши великие учёные И.М. Сеченов и И.П. Павлов. Сеченов это сделал в середине XIX в. своими “Рефлексами головного мозга”, которые Павлов назвал “гениальным взмахом сеченовской мысли”. Сам Павлов – своими условными рефлексами, которые вошли

теперь в школьные учебники. Именно Сеченов и Павлов дали мощный толчок развитию российской физиологической школы, которая, к счастью, сохранилась.

Достижения современной науки о мозге поразительны. Сейчас они вызывают к жизни грандиозные национальные проекты масштаба ядерного или космического. Америка и Китай уже начинают реализовывать такого рода проекты, которые направлены на здоровье человека и на создание новых информационных технологий. На этот вызов времени должна ответить и Россия. Научный потенциал у нас пока для этого имеется, нужна только мощная поддержка. Нынешняя научная сессия, посвящённая мозгу, организована Президиумом академии очень и очень вовремя.

Я постараюсь обозначить актуальные, по моему разумению, направления в изучении мозга, а также назвать некоторых учёных и лаборатории, которые активно и на хорошем уровне работают по этим направлениям. Начну с двух новых методических подходов, никоим образом не отрицая, конечно, необходимости применения и развития других – традиционных и совсем новых методов.

Как мне представляется, можно выделить следующие наиболее перспективные направления современной науки о мозге:

- эволюция и индивидуальное развитие;
- молекулярная физиология;
- физиология сенсорных систем;
- физиология движения;
- физиологические основы психических функций – обучения, памяти, поведения, сознания;
- нейроинформатика: информационные и вычислительные подходы, теоретическая математика.

МЕТОДЫ, РЕВОЛЮЦИОНИЗИРУЮЩИЕ СОВРЕМЕННУЮ НЕЙРОБИОЛОГИЮ

Первый из них – *визуализация нервных клеток и мозга в целом, регистрация их функциональной активности*. По существу, речь идёт о трёх уровнях визуализации: внутриклеточной, клеточной и макроструктур мозга человека и позвоночных животных.

На внутриклеточном уровне открывается возможность оптического наблюдения работы молекулярной “машинерии” клетки, например с помощью ион-зависимых и потенциал-зависимых зондов. Реальным стало молекулярно-генетическое картирование экспрессии определённых генов. На клеточном уровне, в частности на срезах мозга *in vitro* и у генетически изменённых линий животных, возможна регистрация активности отдельных нейронов или групп нейронов мозга позвоночных и беспозвоночных животных. Наконец, стала доступной визуализация локальной активности макроструктур мозга человека и позвоночных животных с помощью обширного комплекса методов оптического картирования, позитронно-эмиссионной и функциональной магнитно-резонансной томографии, электро- и магнитоэнцефалографии и картирования по суммарным вызванным потенциалам.

Важно подчеркнуть, что перечисленные методы, несомненно, дополняют друг друга. Идеальным было бы использование их в комплексе. Действительно, если различные виды функциональной томографии в основном отвечают на вопрос “где”, то электро- и магнитно-физиологические методы, непосредственно регистрирующие активность корковых и подкорковых структур мозга, позволяют отвечать на вопрос “как”. В настоящее время эти методы крайне важны для изучения функций мозга, в том числе механизмов восприятия, хранения и извлечения информации, а более широко – механизмов двигательного поведения, памяти, мышления и сознания. Следует подчеркнуть, что в большинстве своём эти методы очень дороги. При планировании фундаментальных нейробиологических исследований это надо иметь в виду.

Вторую группу методов, принципиально изменяющих возможности исследователя, составляют *генетические изменения нервных клеток и организма в целом (трансгенные и нокаутные животные)*.

Суть современных генноинженерных технологий состоит в том, что они позволяют создавать животных (мышей), у которых активность избранных генов повышена или, наоборот, отключена. Речь идёт о трансгенной и нокаутной технологиях, когда, с одной стороны, возможен перенос в геном дополнительного гена, а с другой – инактивация обеих копий генов.

Новейшее достижение подобных технологий – это возможность отключить ген только в избранном виде клеток (например, в нейронах). Одна из немногих лабораторий, которая владеет этими технологиями – лаборатория члена-корреспондента РАН С.А. Недоспасова в Институте молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН. В этой лаборатории получены мыши, у которых часть программ апоптоза отменена. Мыши эти жизнеспособны (что принципиально важно!), но у них есть тонкие структурные и функциональные аномалии, в том числе в поведении. Подробное нейробиологическое изучение таких животных представляет огромный интерес.

ЭВОЛЮЦИЯ И ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ

Понять природу мозга, мозга человека с его высшими психическими способностями, без осознания природы эволюционного процесса невозможно. В России эволюционное учение имеет глубокие и давние традиции. Я имею в виду и зоологов (достаточно назвать А.Н. Северцова, И.И. Шмальгаузена, В.А. Догеля), и физиологов. Кстати, сам термин “эволюционная физиология” был предложен в 1914 г. А.Н. Северцовым.

Формирование и развитие эволюционной и сравнительной физиологии как фундаментального научного направления связано с российской наукой, с именами физиологов Л.А. Орбели и Х.С. Коштыянца. В 1956 г. Л.А. Орбели создал в Ленинграде Институт эволюционной физиологии, присвоив ему имя И.М. Сеченова. Вот уже более полувека в этом институте активно ведутся работы по эволюционной физиологии, причём на всех уровнях организации – от молекулярного до организменного и экосистемного. Важные исследования по эволюции и позвоночных, и беспозвоночных животных ведутся в лабораториях академиков Ю.В. Наточина и В.Л. Свицерского, членов-корреспондентов РАН Н.П. Весёлкина и Л.Г. Магазаника и ряде других.

Особенно следует обратить внимание на беспозвоночных животных, на изучение эволюции их нервной и сенсорных систем. Помимо фундаментальной значимости, работы в этом направлении приобретают и практический интерес. Так, на последней конференции по зрению беспозвоночных (International Conference on Invertebrate Vision, Sweden, 2008) обсуждалась возможность создания новых систем аэронавигации, в основе которых лежат нейрофизиологические механизмы зрения и поведения насекомых.

Что касается эволюции нервной системы животного мира, то, согласно представлению, развиваемому Ю.В. Наточиным и Н.П. Весёлкиным, возникшая на самых ранних этапах эволюционного процесса и у самых примитивных одноклеточных организмов система химической регуляции и сигнализации никуда не исчезла, а оказалась полностью востребованной в появившейся позже нервной системе. Самое, пожалуй, поразительное то, что древняя система химической коммуникации сохранилась в синаптической передаче нервного сигнала.

Химическая регуляция и сигнализация у одноклеточных были необходимы для поддержания постоянства (гомеостаза) внутриклеточной среды и организации поведения. Возникновение многоклеточных организмов потребовало более совершенной системы сигнализации, способной доставлять информацию быстро, целенаправленно и на сравнительно большие расстояния. Этим объясняется возникновение нервной системы, эволюция которой дошла до мозга приматов и человека. Сохранившаяся при этом химическая система регуляции и сигнализации эволюционировала в гормональную и специализированную нейроэндокринную системы. Нейроэндокринная регуляция необходима для интеграции целостного организма, поддержания гомеостаза и регуляции важнейших функций мозга и висцеральных систем. Ключевой структурой, обеспечивающей такую регуляцию, является гипоталамус, включающий многие виды нейросекреторных нейронов.

Важно подчеркнуть, что нейроэндокринная система играет решающую роль в индивидуальном развитии организма. Изучение механизмов онтогенеза – актуальнейшее направление в современной науке о мозге. У нас этой проблемой давно и успешно занимается академик М.В. Угрюмов и его лаборатория в Институте биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН.

Следует ещё раз подчеркнуть, что понять механизмы работы мозга без понимания принципов эволюционного развития химической и нервной сигнализации и регуляции просто невозможно.

Остановимся теперь на самом позднем этапе развития нервной системы – эволюции мозга приматов. Конкретно, речь идёт о происхождении и эволюции языка. Язык – и это принципиально важно – средство и коммуникации, и мышления. Язык – важнейшая составная часть человеческого сознания. Первичным сознанием, то есть элементарной рассудочной деятельностью, обладают и животные. Важный вклад в это психофизиологическое направление исследований внёс член-корреспондент РАН Л.В. Крушинский (биологический факультет МГУ), предложивший в своё время оригинальный метод изучения “экстраполяционных” рефлексов.

Человек – во многом из-за наличия языка – обладает высшей формой сознания. Природу человеческого сознания нельзя понять без понимания генетических основ и эволюционного развития языка. Важнейший признак

эволюции, по И.И. Шмальгаузену, – это “нарастающий рост независимости от внешней среды”. Благодаря сознанию и языку как его важнейшей составной части современный *Homo sapiens* достиг максимальной независимости от среды обитания.

Вопрос о том, как и когда возник язык, остаётся открытым. Обсуждаются две возможности: язык возник в результате генетического “взрыва” или язык явился результатом постепенного естественного отбора мелких мутаций. Независимо от ответа на этот вопрос на эволюционном древе отряда приматов, семейства гоминид, рода *Homo* специалисты предлагают следующую датировку возникновения и развития языка: нейроанатомический субстрат языка возник у *Homo erectus* около 2 млн лет назад; протоязык появился у *Homo habilis* около 1 млн лет назад; наконец, полностью сформированный язык у *Homo sapiens* датируется примерно 75 тыс. лет назад. Исследования по этому интереснейшему междисциплинарному направлению на стыке физиологии и лингвистики (нейролингвистика) ведутся во всём мире; у нас этим успешно занимается профессор Т.В. Черниговская в Петербургском государственном университете.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

Молекулярная физиология – это фундамент физиологии вообще и нейробиологии в частности. Молекулярная физиология – это элементная база клетки. Именно поэтому она находится в фокусе интересов всех физиологических дисциплин, в том числе и в первую очередь физиологии мозга и нервной системы в целом.

Молекулярная физиология – наука постгеномной эры. Ген, а следовательно, и геном, кодирует белки. Но ген кодирует лишь устройство белка, а не программу сборки белков в белковые “машины”. Расшифровка структуры генома мало что говорит о том, как именно он работает. Вот почему сейчас, когда стали известны геномы растений, животных и человека, задача состоит в том, чтобы понять, как геном строит клетку и как регулирует её работу. Иными словами, на очереди исследования сложных систем. Самой простой и вместе с тем сверхсложной биологической системой является живая клетка. Именно поэтому молекулярная физиология становится наукой постгеномной эры.

Обратимся к молекулярной физиологии нейронов мозга. Вот некоторые цифры. Мозг взрослого человека содержит около 100 млрд нервных клеток и около 100 трлн контактов между ними, которые называются синапсами. Когда обсуждают принципы передачи и обработки информации в мозге и при этом говорят о нервных сетях, то нельзя забывать, что “нервные сети” – это сугубо информационное понятие. На самом деле нервная система – никакая не сеть и никакой ни синцитий, как думали раньше, а это 100 млрд отдельных клеток – нейронов, контактирующих друг с другом. Идея о том, что нервная система – не сеть, а множество отдельных клеток, образующих многочисленные контакты друг с другом, была высказана великим испанским нейрогистологом Рамон-и-Кахалем в самом конце XIX в.

Передача информации от клетки к клетке осуществляется с помощью электрических и химических сигналов. Одна из ключевых задач молекуляр-

ной физиологии как раз и состоит в том, чтобы понять механизм распространения электрического сигнала по длинному (аксону) и короткому (дендриту) отросткам нервной клетки и механизм его химической передачи от клетки к клетке в месте контакта (в синапсе). Распространение электрического сигнала (речь идёт об ионных токах – положительно заряженных ионах калия, натрия, кальция и, например, отрицательно заряженных ионах хлора) и его передача в синапсе обеспечиваются “элементной базой” нервной клетки. Носителями же химической передачи в синапсе (нейропередатчиками, или нейромедиаторами) обычно служат низкомолекулярные соединения, такие как ацетилхолин, глутамат, дофамин и целый ряд других веществ.

К “элементной базе” нервной клетки можно отнести мембранные белки, которые как бы “вставлены” в биологическую мембрану. К числу встроенных белков относятся рецепторы и каналы. Через ионные каналы селективно переносятся положительно либо отрицательно заряженные ионы – катионы или анионы. Рецепторы – это мембранные белки, на которые “сажаются” и с которыми взаимодействуют молекулы нейропередатчика. Важно подчеркнуть, что в состав белков рецепторов входят как собственно рецепторная часть, которая “узнаёт” молекулу нейропередатчика и с которой она связывается, так и канальная часть, через которую ионы переносятся.

“Классическими” ионными каналами являются многочисленные потенциал-зависимые каналы, которые управляются, то есть открываются и закрываются, благодаря изменению электрического напряжения (электрического потенциала) на мембране. Именно ионные каналы обеспечивают распространение электрического сигнала (нервного импульса) по отросткам нервных клеток. Последовательностью нервных импульсов закодирована информация, которая передаётся от нейронов к нейронам. По существу, это информационный “язык” мозга. В отличие от потенциал-зависимых ионных каналов, каналы в составе белковых рецепторов, обеспечивающие синаптическую передачу, управляются химическим веществом – нейропередатчиком.

Ещё одно многочисленное и важнейшее семейство белковых рецепторов – это рецепторы, которые “управляют” не каналами, а другими белками. Открыты они были много позже и, как выяснилось, играют ключевую роль во внутриклеточной передаче и обработке сигналов. Конкретно речь идёт о белках-рецепторах, взаимодействующих с так называемыми G-белками. Названы они так потому, что способны связывать и разрушать молекулу ГТФ (по-английски GTP). G-белки получили название сигнальных белков, поскольку являются универсальными посредниками при внутриклеточной передаче световых, химических (вкус, обоняние), нервных, гормональных сигналов к другим белкам, ответственным за ту или иную специфическую функцию живой клетки.

Наиболее хорошо изученным представителем огромного “суперсемейства” G-белок-связывающих рецепторов является светочувствительный зрительный белок родопсин. Его первичная структура (аминокислотная последовательность) и топография в фоторецепторной мембране зрительной клетки были установлены в начале 1980-х годов академиком Ю.А. Овчинниковым и его сотрудниками из Института биоорганической химии РАН, который носит теперь имя М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова. Почти одновременно данные

о первичной структуре родопсина опубликовала и группа американских авторов под руководством П. Харгрейва.

Итак, основные информационные белковые элементы нервной, рецепторной или иной клетки организма – это потенциал-зависимые ионные каналы, белки-рецепторы со встроенными каналами и белки-рецепторы, управляющие другими белками.

На современном витке спирали познания живой клетки и организма в целом настоятельно требуется детальное описание трёхмерной структуры каналов и рецепторов, понимание тонкостей их взаимодействия с маленькими молекулами нейротрансмиттеров и большими молекулами других белков, в первую очередь с G-белками. Пути исследования, по которым надо двигаться, более или менее ясны. Вопрос в кадрах, современном оборудовании, дорогих реактивах и активной научной политике. Совершенно очевидно, что только фундаментальное знание физиологической нормы позволит понять природу нарушений “элементной базы” клетки. Другой возможности для выяснения глубинных причин заболеваний, для создания новых лекарств, для успешного, осознанного лечения, в том числе нервных и психических заболеваний, не существует.

Следует сказать, что за выдающиеся успехи в изучении ионных каналов и белков-рецепторов получена не одна Нобелевская премия. У нас в этой области молекулярной физиологии успешно работают довольно много сильных учёных, научных школ, лабораторий и групп. Большая поддержка этому направлению была оказана в 1970-е годы Академией наук. В те годы академик Ю.А. Овчинников организовал ряд целевых проектов, в том числе “Родопсин”, “Ионный канал”, в рамках которых активно проводились комплексные исследования рецепторов и каналов, были опубликованы работы мирового класса.

Огромный вклад в изучение ионных каналов внёс академик П.Г. Костюк и его научная школа. В 2009 г. за работы в этой области П.Г. Костюку присуждена золотая медаль им. И.М. Сеченова РАН. Скоро в издательстве “Наука” должна выйти его монография, посвящённая кальциевым каналам и их роли во внутриклеточной сигнализации. Многочисленные ученики П.Г. Костюка активно работают сейчас и в России, и на Украине, и во многих странах ближнего и дальнего зарубежья. Одним из ярких представителей костюковской школы является член-корреспондент РАН и академик Национальной академии наук Украины О.А. Крышталь, чьи работы, в том числе по открытым им протон-чувствительным ионным каналам, публикуются в самых престижных журналах.

У нас есть замечательная научная школа профессора Б.И. Ходорова. Его работы, обзоры и книги по ионным каналам и возбудимости нервных клеток стали классическими. Исследования самого высокого класса по ионным каналам нервных клеток ведутся членом-корреспондентом РАН Г.Н. Можайевой и её молодыми учениками в Институте цитологии РАН в Петербурге. Исключительно важное направление – исследование модельных систем, то есть искусственных мембран и “вставленных” в них ионных каналов. В этой области у нас давно, плодотворно и на мировом уровне работает член-корреспондент РАН Ю.А. Чизмаджев и его научная школа в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН. Таким образом, в

области изучения ионных каналов мы занимаем достойное место. То же самое можно сказать и об изучении синаптических рецепторов, “узнающих” и взаимодействующих с молекулами-нейропередатчиками.

Синаптических контактов в мозге, как уже говорилось, около 100 трлн. Но синапс – это не просто контакт между клетками, это сложнейшая молекулярная “машинерия”. По существу, в синапсе протекают все процессы, приводящие к основным видам мозговой деятельности: восприятию, движению, обучению, поведению, памяти. Синапс – настолько важная нейробиологическая структура, что его изучение вылилось в отдельную область науки – синаптологию.

В синапсе различают три основные части: пресинаптическое окончание – расширенное окончание длинного отростка нервной клетки (аксона), узкую синаптическую щель и, наконец, постсинаптическое окончание – окончание короткого отростка нервной клетки (дендрита), воспринимающего нервный сигнал. Внутри расширенного пресинаптического окончания находятся мелкие пузырьки (везикулы). В них-то и заключено химическое вещество – нейροпередатчик, которое высвобождается в синаптическую щель. Всё это – азы синаптологии. Что важно? Важно, что и пресинаптическое окончание с его нейропередатчиками, и постсинаптическое окончание – это свой молекулярный мир со своими белками-рецепторами и белками-каналами.

Традиции изучения синаптической передачи нервных сигналов восходят у нас к 1920–1930-м годам, к казанской (А.В. Кибяков и его ученики), петербургской (Л.А. Орбели и его ученики), московской (Х.С. Коштоянц и его ученики) физиологическим научным школам. Большое влияние на развитие синаптологии в нашей стране оказал ученик Х.С. Коштоянца академик Т.М. Турпаев. Ещё в 1946 г. в журнале “Nature” Х.С. Коштоянц и Т.М. Турпаев опубликовали статью (в то время публикация в “Nature” сама по себе была чудом), в которой фактически впервые были представлены результаты, свидетельствовавшие о белковой природе синаптического рецептора к нейропередатчику.

В 1960–1980-х годах работы мирового класса, касавшиеся синапсов спинного мозга и эволюции синаптической передачи, были выполнены членом-корреспондентом РАН А.И. Шаповаловым в Институте эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова в Петербурге. Исследования в этом направлении успешно продолжаются в этом институте и сейчас членами-корреспондентами РАН Л.Г. Магазаником и Н.П. Весёлкиным.

Совсем недавно Л.Г. Магазаник и его ученик Д.Б. Тихонов опубликовали интереснейшую работу об эволюции глутаматных рецепторов – важнейшего класса белковых рецепторов центральной нервной системы и мозга. Глутамат – ключевой возбуждающий нейропередатчик. Рецептор к нему – классический ионотропный рецептор, содержащий “узнающую” глутамат часть и регулируемый ионный канал. Оказалось, что глутаматный рецептор – один из самых древних: его предшественники найдены даже у растений и прокариот (примитивных одноклеточных безъядерных организмов). Понимание эволюции, знание пространственной организации и молекулярной физиологии этих рецепторов позволяет лаборатории Л.Г. Магазаника вести осмысленный поиск новых нейро- и психотропных препаратов. Они установили, например, такую тонкость: наиболее безопасны, эффективны и перспектив-

ны в качестве потенциальных лекарств те препараты, которые селективно действуют именно на канальную, а не на рецепторную часть глутаматного рецептора. Такие препараты проходят сейчас испытания на животных.

Другой яркий пример современных достижений в понимании эволюции, структуры и функции белкового синаптического рецептора – это ацетилхолиновый рецептор. Ацетилхолин, как и глутамат, является ключевым нейротрансмиттером. Более того, именно с него началась в 1920-е годы история исследования химической передачи нервных сигналов в синапсе. Ионотропный белок-рецептор к ацетилхолину (так называемый холинорецептор) в настоящее время прекрасно изучен. Приоритетные исследования в этой “горячей” области синаптологии ведут члены-корреспонденты РАН В.И. Цетлин и Е.В. Гришин в Институте биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова. Молекулярная структура и функции холинорецептора изучены в настоящее время исключительно подробно: в деталях описаны его рецепторная и канальная части, установлены места связывания ацетилхолина и молекул-блокаторов.

Оригинальное и вместе с тем традиционное направление развивают в области синаптологии физиологи сильной казанской школы члены-корреспонденты РАН Е.Е. Никольский (Казанский институт биохимии и биофизики РАН) и А.Л. Зефирова (Казанский государственный медицинский университет). В основном, они изучают синапс между нервной и мышечной клетками. Важно подчеркнуть, что принципы химической передачи в нервно-мышечных синапсах и синапсах мозга едины, но экспериментировать на нервно-мышечных синапсах гораздо удобнее. Именно на них были проведены основополагающие работы о механизмах синаптической передачи, удостоенные Нобелевской премии. Именно на них была открыта квантовая природа выделения нейротрансмиттеров из пресинаптического окончания, зарегистрированы электрические токи одиночных ионных каналов. Казанскими же физиологами выполнены пионерские работы по неквантовому выделению нейротрансмиттеров из пресинаптических окончаний, по изучению механизмов обратного захвата синаптических пузырьков, по регистрации физиологической активности одиночных ионных каналов.

Повторюсь: эти фундаментальные исследования – основа для осмысленного, обоснованного, целенаправленного поиска новых лекарственных препаратов. Ибо именно в синапсе следует искать причины нервных и психических расстройств, с синапсом связана вся нейро- и психофармакология прошлого, настоящего и будущего. Прав химик-синтетик академик Н.С. Зефиров, сказавший недавно в интервью газете “Поиск”: “Если мы действительно хотим иметь новые лекарства, то они могут выйти только из фундаментальной науки, из академических институтов”.

Когда речь идёт о молекулярной физиологии и молекулярной медицине, о патогенезе нервных и, особенно, психических заболеваний, о поиске эффективных лекарств, нельзя забывать о новом, постгеномном направлении – полиморфизме генов. Полиморфными принято называть гены, которые представлены несколькими разновидностями – аллелями. Масштабы полиморфизма таковы, что между последовательностями ДНК двух людей, если только они не однояйцевые близнецы, существуют миллионы различий. Понимание патогенеза полигенных и, особенно, моногенных заболеваний

требует учёта полиморфизма вовлечённых в эти заболевания генов. Более того, полиморфные особенности некоторых людей, к счастью очень и очень редко, превращают широко распространённое, вполне безопасное лекарство в токсический агент. Не случайно поэтому возникли разговоры об индивидуальной медицине. Примером важности полиморфизма генов в психиатрии может служить полиморфизм гена фермента, ответственного за биосинтез серотонина – ещё одного важнейшего нейротрансмиттера в мозге. Как оказалось, развитие депрессий у некоторых групп человеческой популяции прямо связано с полиморфизмом этого гена. Поэтому мониторинг генов человека становится актуальным направлением нейробиологии и молекулярной медицины. Такой мониторинг может привести как к пониманию особенностей высших психических функций у различных групп человеческой популяции и причин многих нервных и психических заболеваний, так и к совершенствованию стратегии поиска лекарств нового поколения.

Следует отметить, что, согласно мнению известного фармаколога С. Снайдера (*The Journal of Neuroscience*. 2009. October), основные лекарства, используемые в психиатрии, – нейролептики, антидепрессанты, седативные (успокаивающие) средства – были предложены в 1950-х и начале 1960-х годов. Затем эти препараты были существенно улучшены: созданы лекарства с исключительно высоким сродством и селективностью к белкам-рецепторам, лекарства с минимальной побочной токсичностью. Но крупного прорыва в создании принципиально новых лекарств с тех пор не произошло. Не исключено, что он произойдёт в ближайшем будущем. К этому ведёт лавинообразное накопление экспериментальных данных в области молекулярной физиологии. Конкретно, речь идёт о внутриклеточной “машинерии”, тонкостях молекулярных механизмов синаптической передачи, знаниях о структуре и функции нормальных и дефектных генов и белков. У нас есть все основания участвовать в этом мировом процессе при условии сильной и своевременной поддержки государства.

Несколько слов об образовании. Как мне представляется, современный курс молекулярной физиологии является одним из центральных в системе физиологических дисциплин. Такой курс – основа для понимания всех физиологических процессов, включая высшие функции мозга. Именно поэтому в октябре–декабре 2009 г. в Научно-образовательном центре МГУ им. М.В. Ломоносова читался организованный нами межфакультетский цикл лекций по молекулярной физиологии. Лекции касались различных аспектов: молекулярной физиологии каналов и синапсов, сердечной деятельности и иммунной системы, зрения и памяти, их читали наши ведущие специалисты. Лекции записывались на DVD и, вероятно, скоро дойдут до студентов и аспирантов различных вузов.

ФИЗИОЛОГИЯ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

Получение, переработка и анализ информации о картине внешнего мира и о внутреннем состоянии организма – основа основ деятельности мозга. Если рассматривать мышление как создание глобальной модели мира, то сенсорные системы обеспечивают создание предметной модели мира, конкретное мышление, которое лежит в основе абстрактного мышления и всех остальных высших психических функций.

В России физиология сенсорных систем – традиционно одно из сильных направлений. У его истоков стояли физиолог Л.А. Орбели и физик С.И. Вавилов. Именно они ещё в 1930-х годах дали мощный толчок фундаментальным и прикладным исследованиям сначала в области физиологии зрения, которой сами занимались, а затем слуха и других сенсорных модальностей. Многие активно работающие сейчас физиологи – прямые или косвенные “научные внуки” Л.А. Орбели.

В работе любой сенсорной системы можно выделить три основных этапа. Первый – сенсорная рецепция, то есть восприятие и преобразование энергии внешнего воздействия – светового (зрение), механического (осязание, слух) или химического (вкус, обоняние) – в физиологический сигнал. Под физиологическим сигналом понимается изменение электрического потенциала на клеточной мембране рецепторной клетки различной модальности. Второй этап – передача и информационная обработка сигнала на всех уровнях сенсорной системы: от рецепторного до специализированных подкорковых и корковых отделов головного мозга. Наконец, третий – формирование в коре головного мозга субъективного образа объективного внешнего мира, выявление его биологической значимости. Каждый из этапов – предмет изучения специалистами различных областей знания.

Сенсорная рецепция – область молекулярной и клеточной физиологии. В этой области у нас активно и на хорошем уровне работают лаборатории профессора В.И. Говардовского в Институте эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН в Петербурге (фоторецепция), доктора биологических наук С.С. Колесникова в Институте биофизики клетки РАН в Пущино (вкусовая рецепция), доктора биологических наук О.А. Синешёкова (эволюция фоторецепции) и профессора П.П. Филиппова (фоторецепция) в Московском университете, лаборатория академика М.А. Островского в Институте биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН и ряд других групп и лабораторий.

Второй этап – передача и обработка сенсорной информации от рецепторных клеток до коры мозга – в основном предмет нейрофизиологии. Третий этап – опознание и формирование субъективного образа внешнего мира, оценка его биологической и смысловой значимости – предмет нейро- и психофизиологии. В этой области плодотворно работают лаборатории совсем недавно ушедшего от нас академика И.А. Шевелёва в Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (детекция признаков изображения высших порядков в зрительной коре), профессора Ю.Е. Шелепина (ученика и преемника профессора В.Д. Глезера) в Институте физиологии им. И.П. Павлова РАН (кодирование и переработка зрительной информации и опознание зрительных образов), члена-корреспондента РАН Я.А. Альтмана в Институте физиологии им. И.П. Павлова РАН, профессора А.Я. Супина в Институте экологии и эволюции им. А.Н. Северцова (кодирование и переработка слуховой информации и опознание слуховых образов), а также ряд других лабораторий и кафедр.

Состояние, уровень понимания и перспективы развития каждого из этапов функционирования сенсорной системы продемонстрируем на примере зрительной системы. Начнём со зрительной рецепции. Достаточно подробно изучены в настоящее время молекулярные механизмы фототрансдукции, то

есть преобразования энергии кванта света, поглощённого молекулой светочувствительного зрительного пигмента, в физиологический сигнал фоторецепторной клетки, молекулярные механизмы её световой и темновой адаптации, механизмы цветоразличения. Причём речь идёт не только о зрительной клетке сетчатки глаза позвоночных животных и человека, но и глаза беспозвоночных животных.

Важный вклад в понимание механизмов зрительной рецепции внесли наши учёные. Я имею в виду, например, работу 1985 г. члена-корреспондента РАН Е.Е. Фесенко, С.С. Колесникова и Л.В. Любарского, касавшуюся механизма внутриклеточной передачи сигнала. Для понимания механизма передачи фоторецепторного сигнала от зрительной к нервным клеткам сетчатки принципиальной была серия работ Ю.А. Трифонова середины 1960-х годов из Института проблем передачи информации им А.А. Харкевича. В этих работах впервые было показано, что не ускорение, как казалось очевидным, а прекращение выделения химического посредника из пресинаптического окончания зрительных клеток служит сигналом о световом стимуле для следующих за ними нервных клеток сетчатки.

Благодаря поразительным успехам в описании молекулярных механизмов фоторецепции открываются новые возможности для изучения патогенеза тяжёлых заболеваний глаз, в первую очередь таких распространённых и пока трудно поддающихся лечению, как дегенеративные заболевания сетчатки. Кроме того, понимание молекулярной “машинерии” фоторецепции позволяет думать об использовании принципов её работы в технических информационных устройствах. Примером тому может служить зрительный белок родопсин – светочувствительная молекула зрения. Фотохимическая реакция совершается в молекуле родопсина за ультракороткое время – 100–200 фемтосекунд ($1 \text{ фм} = 10^{-15} \text{ с}$). Эта реакция является фотообратимой (результат совместной работы лабораторий профессора О.М. Саркисова в Институте химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН, академика М.П. Кирпичникова в Институте биорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН и М.А. Островского в Институте биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН). Феномен фотообратимости зрительного пигмента родопсина в фемто- и пикосекундном диапазоне времён открывает принципиальную возможность создания устройств высокого быстродействия для оптической обработки информации.

Передача и обработка сенсорной информации от рецепторных клеток до коры мозга, как говорилось, в основном предмет нейрофизиологии. В области нейрофизиологии сетчатки важные работы были выполнены членом-корреспондентом РАН А.Л. Бызовым в Институте проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН. Его монография “Электрофизиологические исследования сетчатки” (“Наука”, 1966) стала настольной книгой для целого поколения физиологов зрения и офтальмологов. А.Л. Бызовым, в частности, установлена роль обратных связей в механизме передачи и обработки в сетчатке зрительной информации.

Ключевой принцип обработки зрительной информации в нервных слоях сетчатки, которая, по определению Рамон-и-Кахалы, является “частью мозга, помещённой в глаз”, обработки информации в подкорковых и корковых отделах мозга – детекторное и позиционное кодирование. Суть его состоит в том,

что выделение ключевых признаков изображения происходит с помощью специализированных нейронов-детекторов. Если, например, на сетчатку падает изображение креста, то составляющие его поперечная и продольная линии на первом этапе обработки в коре головного мозга детектируются и информационно обрабатываются раздельно. Важны при этом не только сами нейроны-детекторы, но и места их нахождения в коре мозга. Другими словами, мозг кодирует признаки сенсорного сигнала – зрительного, слухового или иной модальности – как с помощью детекторного, так и позиционного кодирования.

В настоящее время известны гораздо более сложные нейроны-детекторы: детекторы цвета, детекторы лиц (в нижней височной коре). Подобные “умные” нейроны способны быстро и безошибочно распознавать такие сложные зрительные объекты, как лица знакомых людей. В научной литературе они даже получили название “нейроны лица моей бабушки”. По поводу “умных” нейронов сейчас ведётся активная дискуссия. Скорее всего, речь всё-таки идёт не об одном единственном “умном” нейроне, а о некой их совокупности, способной “помнить” и “распознать” такой сложный образ, как человеческое лицо.

Понимание процессов, лежащих в основе работы сложных детекторов, необходимо, в том числе, и для коррекции тяжёлых нарушений психики, например, шизофрении или аутизма (аутизм – тяжёлая аномалия психического развития, возникающая вследствие нарушения развития мозга и характеризующаяся крайней степенью отчуждённости, уходом в себя).

Считается, что в основе работы “умных” нейронов лежит принцип “меченой линии”. Этот принцип, справедливый, судя по всему, для сенсорной системы любой модальности, состоит в том, что группа нейронов-детекторов – простых и сложных – объединена (генетически или в результате обучения) в специализированный сенсорный канал. Природа же кода, обеспечивающего объединение отдельных нейронов в нейронные ансамбли, формирующие “меченую линию”, остаётся не совсем ясной.

В последнее время получены важные сведения, касающиеся физиологических механизмов предметного, конкретного мышления. Имеется в виду создание в мозге прототипа зрительного образа, который хранится в памяти и с которым потом сравнивается распознающийся в данный конкретный момент зрительный образ. Экспериментальные данные, свидетельствующие о реальности такого рода прототипа, были недавно получены группой исследователей при участии И.В. Бондаря (Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН). Было показано, что “умные” нейроны нижневисочной коры обезьяны при кодировании информации о лицах формируют “внутреннее представление” об усреднённом лице (или прототипе лица). Более того, эти нейроны способны достаточно долго сохранять свои детекторные свойства. Иными словами, прототип хранится в памяти и используется для опознания всех известных субъекту лиц.

Итак, если принципы детекторного и позиционного кодирования признаков изображения становятся более или менее понятными, то механизм формирования субъективного зрительного образа и оценка его значимости ещё далеки от понимания. Для современной нейро- и психофизиологии это ключевой вопрос. Несмотря на интенсивные исследования в этом направле-

нии, сколько-нибудь определённого ответа пока нет. Нет, скорее всего, потому, что не предложен достаточно адекватный язык для информационного описания высших психических (когнитивных) функций мозга. На языке современной математики говорит физика, но, судя по всему, не нейробиология. Становится всё очевиднее, что мозг – это не вычислительная машина в её современном понимании. Серьёзные теоретические работы, направленные на создание информационной теории мозга, только появляются. Об этом свидетельствуют и обзоры в октябрьском 2009 г. номере “The Journal of Neuroscience”, посвящённом 40-летию общества нейронаук США. Следует заметить, что сама возможность создания непротиворечивой информационной теории мозга также пока неочевидна.

Возвращаясь к трём этапам работы сенсорной системы, в том числе зрительной, можно сказать, что если в отношении первого – сенсорной рецепции – в настоящее время достигнута определённая ясность, в отношении второго – передачи и обработки сенсорной информации – существуют вполне определённые представления, то в отношении третьего – формирования в коре головного мозга субъективного образа объективного внешнего мира – вопросов остаётся ещё очень много.

ФИЗИОЛОГИЯ ДВИЖЕНИЯ

Физиология движения, можно сказать, – классическая физиологическая дисциплина. Слова Сеченова о том, что “все внешние проявления мозговой деятельности могут быть сведены на мышечное движение”, справедливы и сегодня. (Следует особо подчеркнуть слово “внешние”).

Движения делятся на врождённые (например, когда мы отдёргиваем палец от горячей плиты) и выученные (классический пример – движения пальцев виртуоза-пианиста). Нейрофизиологические механизмы их сильно различаются, успехи же в изучении крайне важны для понимания принципов работы мозга. В случае выученных движений речь идёт о механизмах обучения новым движениям, сохранения их в памяти и, наконец, их реализации, то есть двигательного поведения.

Физиология двигательной системы – важнейшая составная часть гравитационной физиологии, в которую наши учёные внесли исключительно большой вклад. Исследования в условиях невесомости позволили определить роль систем мозга, в первую очередь сенсорных, в обеспечении нормального двигательного поведения. Понимание физиологических механизмов движения составляют основу неврологии, с одной стороны, и стремительно развивающейся робототехники – с другой.

Ключевую роль в организации двигательного поведения играет обратная связь, позволяющая оценить ход выполнения и результат движения и при необходимости скорректировать их. Принципиальную важность обратных связей в регуляции и формировании движений первыми осознали ещё в 1930–1940-х годах наши выдающиеся физиологи Н.А. Бернштейн и П.К. Анохин. Собственно говоря, вся теория управления и робототехника вышли, как из гоголевской “шинели”, из физиологии движения, из обратных связей. Даже полное название знаменитой книги “отца” кибернетики Норберта Винера (1948) звучит так: “Кибернетика, или управление и связь в животном и машине”.

Современная физиология движения – это область интереса физиологов, математиков и специалистов в области теории управления. Исследования, выполненные в своё время физиологом академиком В.С. Гурфинкелем и математиком академиком И.М. Гельфандом совместно с их многочисленными учениками, стали классическими. Пример тому – работа Г.Н. Орловского, Ф.В. Северина и М.Л. Шика, открывших спинальный генератор шагательных движений. Продолжая исследования в этом направлении, профессор Ю.П. Герасименко в лаборатории физиологии движений Института физиологии им. И.П. Павлова РАН в Петербурге показал наличие генератора шагания и у человека. В самое последнее время Ю.П. Герасименко с сотрудниками получил замечательные результаты. Как известно, в норме генераторы шагания контролируются структурами головного мозга. Удалось показать, что шагательные движения – ходьбу – можно запустить у животных с полным перерывом спинного мозга, то есть когда связь между головным и спинным мозгом нарушена. Это означает, что спинной мозг обладает собственными механизмами регуляции шагательной функции. Инициация же осуществляется электрической и/или фармакологической стимуляцией, которая имитирует командные сигналы, идущие от головного мозга. В опытах Ю.П. Герасименко именно электрическая стимуляция спинного мозга в сочетании с фармакологическим воздействием вызывала у крыс хорошо координированные шагательные движения с полной поддержкой веса тела. Работа с изложением этих результатов опубликована совсем недавно в журнале “Nature”. Она даёт надежду тысячам парализованных спинальных больных на хотя бы частичную реабилитацию.

Физиология движения продолжает оставаться у нас предметом активного изучения. Речь в первую очередь идёт о работах, которые успешно ведутся в лабораториях члена-корреспондента РАН И.Б. Козловской в Институте медико-биологических проблем РАН (гравитационная физиология), профессора М.Е. Иоффе в Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (механизмы обучения новым движениям и двигательного поведения), профессора Ю.С. Левика в Институте проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН (управление движениями).

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПСИХИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ – ОБУЧЕНИЯ, ПАМЯТИ, ПОВЕДЕНИЯ, СОЗНАНИЯ

Это направление одно из самых увлекательных, бурно развивающихся и, можно сказать, революционных. За последние годы в этой области, пограничной между физиологией и психологией, достигнуты большие успехи и, что, пожалуй, ещё важнее, сформулированы новые вопросы, на которые предстоит ответить. Мостик, перекинутый И.М. Сеченовым и И.П. Павловым от физиологии к психологии, превращается в генеральный путь современной нейронауки.

Что здесь главное и новое с точки зрения физиологических механизмов? Главное и новое в том, что, как выясняется, в этих механизмах задействованы как синапсы, так и гены, как межклеточные взаимодействия, так и внутриклеточная белковая и генная “машинерия”.

Говоря о синапсах, вновь нельзя не вспомнить великого испанского гистолога Рамон-и-Кахаля, который, утвердив принцип строения нервной системы как принцип контактов между отдельными клетками, ещё в 1894 г. предположил, что в основе обучения лежит повышение эффективности работы синапса. Как мы теперь знаем, речь идёт не только о повышении эффективности или, говоря специальным языком, о пластичности синаптических контактов между нейронами, но, более того, об образовании новых синапсов. Как выяснилось недавно, в определённых областях мозга имеются стволовые клетки, и из них могут образовываться новые нейроны. Это неожиданное открытие породило новое направление в изучении механизмов обучения и памяти. Конкретно, у млекопитающих обнаружен непрерывный нейрогенез в так называемой субгранулярной зоне зубчатой извилины гиппокампа. Этой области приписывают первостепенную роль в формировании памяти на место действия (пространственная память) и на события (декларативная память).

Что касается рамони-кахалевского повышения эффективности работы синапса, то с помощью тонких методов современной нейробиологии установлено, что обучение действительно приводит к их активации. Причём повторная активация ещё больше повышает их эффективность. Этот феномен в виде длительной электрической активности нейронов (феномен длительной потенциации) был обнаружен в гиппокампе – филогенетически наиболее древней, глубинной структуре мозга. Гиппокамп, как считается, – зона хранения и обработки информации о месте действия, о пространстве; здесь кратковременная память переходит в долговременную.

Электрофизиологическое изучение механизмов обучения и памяти – одно из актуальнейших направлений современной науки о мозге. У нас это направление активно развивается в ряде лабораторий, в том числе в лаборатории члена-корреспондента РАН и РАМН В.Г. Скребицкого в отделе исследований мозга Научного центра неврологии РАМН. Это ведущая лаборатория и научная школа в области нейрофизиологии памяти. На основе фундаментальных знаний о работе синапса и его участии в механизмах обучения и памяти во многих лабораториях ведётся разработка лекарственных препаратов, способных улучшить память, нарушенную в результате заболевания или слабеющую вследствие старения. Так, в лаборатории В.Г. Скребицкого, используя современные методы внутриклеточной регистрации ионных токов, изучен механизм действия ряда пептидов, синтезированных в Институте фармакологии РАМН и способных оказывать улучшающее память действие. Один из них (ноопепт) уже нашёл применение в неврологической и психиатрической клиниках.

Прогресс в понимании структуры и функции синапсов принципиально важен как для понимания физиологических механизмов обучения и памяти, так и для создания новых лекарств, восстанавливающих нарушенную память. Вопрос о том, нужны ли препараты для улучшения памяти здорового человека, остаётся открытым. Скорее всего, они не нужны, поскольку забывание также естественно и биологически оправданно, как и хранение приобретённой информации. Патология незабывания может быть не менее тяжела, чем патология частичной потери памяти.

Начиная с 1970-х годов, продвижение вперёд в исследовании клеточных и молекулярных механизмов памяти в значительной мере связано с изучением

простых нервных систем беспозвоночных животных. Во-первых, они представляют собой удобный объект для различного рода экспериментальных исследований, а во-вторых, они крайне интересны с точки зрения эволюционной и сравнительной физиологии. Ибо, как говорилось вначале, понимание эволюции развития нервной системы и мозга, понимание механизмов естественного отбора, приведшего к возникновению человеческого мозга, – одна из основных проблем современной биологии. К наиболее удобным и популярным объектам такого рода экспериментов относятся моллюски (очень крупный морской моллюск аплизия и обыкновенная виноградная улитка), муха *Drosophila* и ряд других беспозвоночных животных. Нервная система моллюсков состоит всего из 10–30 тыс. крупных нервных клеток, настолько крупных, что их даже можно видеть невооружённым глазом.

Одним из первых, кто стал у нас исследовать синаптическую передачу и разнообразие нейротрансмиттеров у беспозвоночных, а именно у моллюсков, был профессор Д.А. Сахаров в Институте биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН. Д.А. Сахаров – яркий представитель коштыянецевской сравнительно-физиологической научной школы. Среди ведущих лабораторий, в которых сейчас активно и на самом высоком методическом уровне исследуются клеточные и молекулярные механизмы обучения, памяти и поведения у беспозвоночных животных – лаборатория профессора П.М. Балабана в Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Используя современные электрофизиологические и оптические методы регистрации активности нейронов у виноградной улитки, П.М. Балабану и его молодым сотрудникам удалось описать организацию нервных сетей в простых нервных системах. Для построения будущей информационной теории мозга накопление экспериментальных данных такого рода представляет исключительную ценность.

Выше уже говорилось, что в механизмах обучения и памяти задействованы как синапсы, так и внутриклеточная белковая и генная “машинерия”. Известно, что существует память кратковременная (минуты – десятки минут) и долговременная (дни и годы). Показано, что кратковременная память зависит от конформационных изменений белковых молекул синапса, тогда как долговременная обусловлена синтезом новых белков и появлением новых синапсов. Это означает, что переход памяти из кратковременной в долговременную требует экспрессии генов, синтеза новых молекул РНК и белка. Это важнейшее открытие 1960-х годов. Вопрос сейчас в том, какие именно гены активируются при обучении и что именно они делают в нервных клетках. Кое-что об этом уже известно, и во многих лабораториях идёт интенсивное накопление экспериментальных данных. У нас в этом направлении активно работает лаборатория члена-корреспондента РАН и РАМН К.В. Анохина в Институте нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН.

В результате появления новизны в ходе обучения возникает сначала кратковременная, а затем долговременная память. Иными словами, новизна, новая информация, а не просто повторение пройденного, – источник и стимул активации генов и всей генной “машинерии”. Судя по всему, именно новая информация – мощное оружие против ухудшения памяти и ослабления умственной деятельности при старении и патологиях (дегенеративных заболеваниях) мозга. Пионерскую роль в изучении новизны как важнейше-

го фактора в формировании памяти сыграли исследования ориентационного рефлекса академика РАО Е.Н. Соколова (факультет психологии МГУ) и работы по физиологии нейронов лимбической системы и гиппокампа профессора О.С. Виноградовой (Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино).

Поразительные успехи достигнуты в вопросе о локализации различных видов памяти: памяти о фактах (людях, местах, предметах) и о том, что эти факты означают, памяти о выученных движениях (память пианиста или велосипедиста), пространственной памяти (откуда пришёл и куда идти, мысленно воспроизвести пройденный путь). Эти успехи достигнуты благодаря новым методам визуализации мозга, о которых уже шла речь. В первую очередь, это мощнейший современный метод функциональной магнитно-резонансной томографии, который у нас в стране пока в основном применяется в клинике и в гораздо меньшей степени – в фундаментальных нейробиологических исследованиях. Метод же позитронно-эмиссионной томографии успешно используется как раз в фундаментальных исследованиях Института мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН в Петербурге. С его помощью член-корреспондент РАН С.В. Медведев с сотрудниками получил, к примеру, важные данные о локализации областей мозга, участвующих в обеспечении речи.

Что касается памяти, то с помощью методов визуализации мозга твёрдо доказано, что память не диффузно распределена по мозгу, как думали раньше, а локализована в совершенно определённых его отделах, причём разные виды памяти имеют разную локализацию. Этот вывод принципиально важен как для нейро- и психофизиологии, так и для неврологии, нейрохирургии, психиатрии.

Нельзя не вспомнить в этой связи замечательного учёного, основателя отечественной нейропсихологии академика Академии педагогических наук СССР А.Р. Лурия. Подробно исследуя в качестве психолога больных с локальными поражениями мозга, А.Р. Лурия предложил теорию локализации высших психических функций. Время подтвердило и справедливость его теории, и плодотворность нейропсихологии как междисциплинарного направления в науке о мозге.

Каковы “горячие точки”, нерешённые вопросы, касающиеся механизмов памяти? Согласно обзорам по этой проблеме (см., например, всё тот же октябрьский номер 2009 г. “The Journal of Neuroscience”), таких “горячих точек” много. Назову, на мой взгляд, наиболее актуальные. В отношении обучения, запоминания – это вопрос о молекулярных механизмах образования новых синаптических связей между нейронами. В отношении хранения информации – это вопрос о механизме образования новых нервных клеток, механизме нейрогенеза. В отношении извлечения информации из памяти – одной из самых неясных, загадочных проблем – это вопрос о том, как сознание управляет механизмом воспоминания. Совершенно очевидно, что в отношении нейробиологических механизмов высших психических функций мы всё ещё находимся в начале пути, несмотря на то, что вступили на него более столетия назад.

Теперь о сознании – проблеме на стыке, по крайней мере, трёх наук – физиологии, психологии и философии. Что, как представляется, здесь главное.

Главное, пришло понимание того, что сознание – это процесс, действие, а не “нечто”, пассивно лежащее в мозге. Несмотря на то что никто ещё не смог дать достаточно ясного и краткого определения сознания, можно утверждать, что “поток сознания” – не метафора, а существо дела. Высшая человеческая форма сознания состоит в том, что мы *осознаём*, что им обладаем, что мы можем думать, рассуждать, изучать наше собственное сознание. Что касается изучения его механизмов, то, как говорится, “процесс пошёл”. Более того, возникла даже “гонка за сознанием” (“Race for consciousness” – так называется книга английского учёного Д. Тейлора).

Иными словами, от разговоров о сознании учёные перешли к делу – к конкретной экспериментальной работе. В результате этого возникло несколько теорий или, скорее, гипотез, как правило, дополняющих друг друга. Одна из них, предложенная в 1980–1990-х годах, принадлежит одному из наших ведущих нейрофизиологов и психофизиологов члену-корреспонденту РАН А.М. Иваницкому (Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН). Суть её в том, что важнейший элемент сознания – субъективный образ внешнего мира – возникает в результате синтеза в проекционной коре мозга поступающей извне новой сенсорной информации с той информацией, которая была получена ранее и содержится в памяти. *Сопоставление новой информации с памятью* – ключевой момент в “потоке сознания”. Синтез же, говоря нейрофизиологическим языком, возникает в результате кругового движения нервных импульсов. Подобные идеи несколько позднее стали развиваться и другими учёными, в том числе нобелевским лауреатом Дж. Эдельманом. Сейчас подход, касающийся синтеза поступающей и хранящейся информации, рассматривается как один из перспективных в изучении сознания.

Если же говорить о поступающей извне информации, то речь идёт не об информации вообще, а об информации, *сознательно* отобранной для последующего анализа. Отбор же связан с такой психологической категорией, как внимание. Нейрофизиологические механизмы внимания, в частности зрительного, подробно исследуются у нас профессором В.В. Шульговским и его сотрудниками на биологическом факультете МГУ.

Заключая этот раздел, следует подчеркнуть, что актуальнейшая проблема “сознание и мозг” требует единения естественно-научного и гуманитарного знания.

Переходя к вопросу о нарушениях нейро- и психофизиологических функций, я хотел бы обратить внимание на важную конкретную проблему – проблему радиационной безопасности дальних и длительных космических полётов. Если мы действительно хотим осваивать Луну и отправлять экспедиции на Марс, то тяжёлые заряженные ионы высоких энергий галактического происхождения могут стать лимитирующим фактором пилотируемых межпланетных полётов.

Летом 2009 г. в Кёльне проходила международная конференция, посвящённая этой острой для современной космонавтики проблеме (Heavy ions therapy and space symposium, 2009). Во многих докладах рассматривались механизмы повреждающего действия тяжёлых частиц на структуры центральной нервной и зрительной системы, на когнитивные функции. Следствием радиационных повреждений становятся повышенная эмоциональная

напряжённость, тревожность, ощущение психического дискомфорта, страх, снижение памяти, быстрая утомляемость. Иными словами, речь идёт об опасности нарушения профессиональных навыков, операторской деятельности и работоспособности в целом. А это ставит под вопрос реальность и безопасность длительного космического путешествия, а не только проблему его неблагоприятных последствий, которые могут проявиться у космонавта через годы и десятилетия.

Следует отметить, что совсем недавно (ноябрь 2009 г.) американское космическое агентство (НАСА) сообщило, что оно выделило максимальный грант в 1 млн 750 тыс. долл. для исследования на обезьянах влияния солнечной радиации и космических галактических частиц на центральную нервную систему. Обезьяны будут однократно облучены дозой, эквивалентной той, которую получают космонавты за время трёхлетней экспедиции на Марс. Основным предметом физиологического изучения станет работа зрительной системы. Эксперименты на приматах, по мнению специалистов НАСА, совершенно необходимы для оценки последствий полёта на Марс для человека. Известный американский радиобиолог профессор Мэрилендского университета Б. Рабин, получивший финансовую поддержку НАСА, прямо заявил, что существует реальная опасность нарушения когнитивных функций у астронавтов в пределах доз, которые, согласно расчётам НАСА, они получают в ходе экспедиции на Марс.

Работы в этом важнейшем для современной космонавтики направлении ведутся и у нас. Они разворачиваются в Дубне, в Объединённом институте ядерных исследований – фактически единственном месте, где имеются уникальные источники (ускорители) заряженных частиц. Естественно, в них участвуют институты биологического профиля, в первую очередь Институт медико-биологических проблем РАН. Исследования в этой области проводятся также в НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ совместно с кафедрами биофизики и молекулярной физиологии биологического факультета университета. В данном случае речь идёт о радиационной физиологии, или радиобиологии тяжёлых заряженных ионов высоких энергий. Несомненно, это актуальное направление требует комплексного подхода, привлечения фундаментальных знаний и современных методов нейробиологии и нейропсихологии. Оно также предполагает организацию многостороннего международного сотрудничества специалистов разного профиля – физиков, биологов, медиков, психологов.

НЕЙРОИНФОРМАТИКА: ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ, МАТЕМАТИКА

Вне всякого сомнения, это одно из самых бурно развивающихся фундаментальных и прикладных направлений современной науки о мозге. Научная политика любой развитой страны мира в первой половине XXI в. будет ориентироваться на исследования мозга и его высших функций – обучения, памяти, мышления, эмоций, интеллекта и сознания. Нейроинформатике принадлежит в этих исследованиях важнейшая роль.

Цель фундаментальных исследований, к которой в идеале стремится нейроинформатика, – попытка создать сколько-нибудь удовлетворительную информационную теорию мозга. В движение к этой цели вовлечены матема-

тика, информатика, используются предельно быстрые вычисления. Но такое движение немислимо в отрыве от самой нейробиологии, на основе которой, а не абстрактно, только и возможно построение подобной теории. В противном случае математические и компьютерные модели становятся предметом самостоятельного, оторванного от нейробиологии, исследования. Язык таких моделей может быть неадекватен изучаемому объекту, то есть мозгу. На эту опасность в своё время обращал внимание выдающийся математик академик И.М. Гельфанд, хорошо понимавший нейробиологию и внёсший большой вклад в физиологию движения. Разработка адекватного языка для нужд нейробиологии – “горячая точка” современной науки о мозге.

В области нейроинформатики активно работают группы и лаборатории в Москве, Ростове-на-Дону, Петербурге, Нижнем Новгороде. У нас есть коллективы, успешно работающие в области вычислительных нейроисследований. К сожалению, в отличие от США, многих стран Европы и Азии, группы эти крайне малочисленны. Одна из них – группа хорошо известного специалиста профессора В.Л. Дунина-Барковского в Центре оптико-нейронных технологий НИИ системных исследований РАН в Москве. Традиции и научные заделы для расширения работ в области нейроинформатики у нас имеются. Очень многие учёные, занимающиеся этой проблематикой за рубежом, – выходцы из нашей страны.

Что касается практических приложений нейроинформатики, то их уже много сейчас и ещё больше появится в будущем. Речь идёт о медицине, информационно-технической и социальной сферах. Практические приложения рождают и острые этические вопросы, от решения которых не уйти.

Говоря о медицинских приложениях, прежде всего следует упомянуть технологию прямого сопряжения мозга с внешним техническим устройством (brain-computer interface). Пока что созданы и совершенствуются системы, способные передавать информацию в одном направлении – от мозга к компьютеру. Например, регистрируя вызванные потенциалы от определённых областей коры головного мозга и передавая их внешнему устройству, пациент, неспособный говорить и двигаться, может на расстоянии сообщить медицинскому персоналу необходимую информацию. Ожидается, что в обозримом будущем стандартной операционной процедурой станет вживление в мозг электронной системы, позволяющей управлять инвалидной коляской, протезом руки или ноги.

Во всех этих случаях речь идёт о регистрации и передаче надёжно детектируемых, хотя и слабых, электрических сигналов (потенциалов), генерируемых вполне определёнными физиологически активированными областями мозга. Исследования в этой области ведутся у нас несколькими научными коллективами. Можно, например, назвать лабораторию профессора А.А. Фролова в Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, в которой на основе разработанных моделей управления движениями предложены новые методы ранней диагностики двигательных заболеваний.

Ещё одно медицинское направление – нейропротезирование. Уже установлены миллионы слуховых чипов, воспринимающих звук и передающих информацию непосредственно нейронам слуховых центров мозга. В результате глухие люди могут слышать и понимать речь. В будущем возможно появление зрительных и обонятельных электронных протезов. Что же касается

гораздо более сложных задач передачи извне информации непосредственно в мозг, то есть помимо органов чувств, то и такие попытки предпринимаются.

Одним из довольно неожиданных приложений нейроинформатики стала нейроэкономика. Интерес к ней возник в связи с совершенствованием методов неинвазивного изучения мозга, в первую очередь функциональной магнитно-резонансной томографии. Оказалось, например, что склонность человека к риску зависит от деятельности совершенно определённых областей коры головного мозга, в том числе отвечающих за эмоциональное поведение. Данные такого рода используются для прогнозирования финансового и экономического поведения, изучения процесса принятия решений.

Другое мощное направление практического приложения нейроинформатики – робототехника. В 1970–1990-х годах в рамках советской лунной программы в этой области были выполнены пионерские исследования. Речь идёт о создании робота, способного передвигаться по сильно пересечённой местности. Вначале эта задача казалась почти невыполнимой. Решить её позволило понимание механизмов организации двигательной активности животных. Коллективом физиологов под руководством академика В.С. Гурфинкеля (Институт проблем передачи информации АН СССР) и механиков под руководством академика Д.Е. Охоцимского и профессора Е.А. Девянина (Институт прикладной математики АН СССР и Институт механики МГУ) была создана “шестиножка” – механическое “насекомое”. Она стала прообразом множества современных, изощрённых антропоморфных роботов, способных, например, играть в настольный теннис (Япония) или служить в качестве “солдата-носильщика” (конструкция *Big Dog*, США).

Что касается искусственного интеллекта и компьютеров нового поколения, то это чрезвычайно активно развивающаяся область исследований, в которых занята армия специалистов самого разного профиля. Несомненно, современные суперкомпьютерные системы во многих отношениях превосходят возможности человеческого мозга. Компьютер, обыгравший чемпиона мира по шахматам, – яркий тому пример. Но “интеллектуальная” мощь компьютера – это всего лишь его вычислительная мощь. Человеческий же интеллект – это разум *Homo sapiens*. Никакой современный суперкомпьютер разумом не обладает. Однако, по мнению ряда специалистов в области информатики, проблема эта техническая. Не исключено, что в некотором приближении в будущем она будет решена.

Исследования такого рода запущены и хорошо финансируются. Примером может служить американская программа SyNAPSE (Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics), начатая в 2008 г. при поддержке военного ведомства. Её цель – создание “нейроморфных” машин. Компанией IBM уже выполняется первый проект в рамках упомянутой программы. Речь идёт о практической разработке принципиально нового “когнитивного компьютера”, который должен обладать интеллектом, сопоставимым с мозгом млекопитающих.

Стремительный прогресс науки о мозге порождает, как уже было сказано, этические проблемы, суть которых заключена в вопросе: прекрасное или ужасное будущее ждёт человечество? Ответ на него, как это неоднократно случалось в истории, зависит не только и не столько от учёных, сколько от самого общества.

В заключение хотелось бы привести два известных афоризма. Первый: “Наука – это часть культуры”. А уж наука о мозге составляет огромную часть человеческой культуры. Поэтому прогресс знаний о мозге – это прогресс человеческой цивилизации. Не случайно вопрос “духа и тела”, проблема сознания были подняты ещё древними греками. Второй, популярный в научной среде, афоризм: “Нет ничего практичнее хорошей теории”. Несомненно, будет хорошая наука – будет и практика!

РЕГУЛЯТОРНЫЕ ФУНКЦИИ МОЗГА: ОТ ГЕНОМА ДО ЦЕЛОСТНОГО ОРГАНИЗМА

Академик М.В. Угрюмов

Бурное развитие исследований организации живой материи на всех уровнях – от молекулярного до организменного – позволило прийти к ряду принципиально важных выводов. Было установлено, что интеграция целостного организма обеспечивается высокоиерархичными многоуровневыми нервной и нейроэндокринной системами, построенными по кибернетическому принципу взаимодействия отдельных элементов на основе прямых и обратных связей [1]. При этом информация о состоянии внешней и внутренней среды организма поступает в мозг, где она анализируется и принимается решение о том, как необходимо скорректировать работу организма для обеспечения постоянства внутренней среды. Нервная и нейроэндокринная системы ответственны также за регуляцию важнейших функций – репродукции, адаптации, общего метаболизма, водносолевого обмена, моторики и многих других [1, 2].

В последние десятилетия учёные стараются получить ответы на следующие вопросы: какие клеточно-молекулярные механизмы лежат в основе нервной и нейроэндокринной регуляций? какова в этом роль мозга? как изменяется деятельность мозга в процессе старения и при его заболеваниях? Понимание этих механизмов – ключ к их коррекции при старении и патологии.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОЗГА

Структурно-функциональная организация мозга. Более века человечество шло к осмыслению того, что было сформулировано нашими выдающимися предшественниками К. Гольджи, С. Рамоном-и-Кахалем и Ч. Шеррингтоном на основании скорее гениальных догадок, чем научных фактов [3, 4]. В основу сформулированной ими концепции структурно-функциональной организации мозга легли три постулата: элементарным структурно-функциональным элементом мозга является нейрон; нейроны объединены в нейрональные сети; взаимодействие между нейронами осуществляется в области специализированных контактов. Эти постулаты были в дальнейшем подтверждены, что способствовало расшифровке клеточно-молекулярных

механизмов, лежащих в основе регуляторных функций мозга на различных уровнях – отдельного нейрона, нейрональных ансамблей, нервной и нейро-эндокринной систем [1, 2, 3, 5].

В отличие от других клеток нейрон характеризуется дуализмом: с одной стороны, способностью генерировать и проводить нервный импульс, а с другой – под влиянием нервного импульса секретировать физиологически активные вещества – нейротрансмиттеры (НТ); большинство нейронов не воспроизводится [4, 6].

Познание молекулярно-генетических механизмов синтеза НТ и их дальнейшей судьбы является важнейшей задачей современной науки о мозге. Существует два основных класса НТ: производные одной аминокислоты – классические НТ (моноамины, ацетилхолин и др.) и производные нескольких аминокислот – нейропептиды, причём пути их синтеза принципиально различаются. Нейропептиды синтезируются в теле нейрона в гранулярном эндоплазматическом ретикулуме, упаковываются в комплексе Гольджи в секреторные гранулы и транспортируются по аксонам в их терминальные расширения. Классические НТ синтезируются по всей цитоплазме путём последовательных ферментативных превращений одной аминокислоты. После этого они захватываются в секреторные гранулы с помощью везикулярного мембранного переносчика, где и содержатся до выделения [2, 5, 7, 8].

Не так давно показано, что в одном нейроне могут синтезироваться несколько НТ, что обуславливает полифункциональность нейрона. С другой стороны, были обнаружены нейроны, в которых содержится только по одному из ферментов синтеза классических НТ. Функциональное значение этих моноферментных нейронов оставалось непонятным до недавнего времени, когда в нашей лаборатории в Институте биологии развития им. Н.К. Коллцова РАН было установлено, что они синтезируют классические НТ по конвейерному принципу. Другими словами, открыт неизвестный до этого путь “кооперативного” синтеза классических НТ [5, 8].

Согласно упомянутым выше постулатам, мозг образован нейронами, объединёнными в нейронные сети с помощью гипотетических контактов, названных Ч. Шеррингтоном синапсами [3, 6]. Лишь полвека спустя синапсы удалось увидеть с помощью электронной микроскопии при увеличении в тысячи раз (рис. 1, *а*) [6]. Оказалось, что они образованы при контакте терминального расширения аксона одного нейрона с дендритами или телом другого нейрона (рис. 1, *б*). В пресинаптическом терминале аксона содержатся небольшие “синаптические” пузырьки и более крупные секреторные гранулы, в которых накапливаются НТ. Поверхность постсинаптической мембраны дендрита может быть увеличена за счёт боковых его выростов – шипиков (рис. 1, *в*) [2, 3]. Именно в области синапсов происходит трансформация электрического сигнала в химический, с помощью которого передаётся информация от нейрона к нейрону [4]. При этом деполяризация пресинаптической мембраны аксона под влиянием нервного импульса сопровождается входением внутрь нейрона ионов кальция, что приводит к экзоцитозу секреторных гранул – встраиванию гранул в плазматическую мембрану и выбросу их содержимого в синаптическую щель. Скорость секреции НТ регулируется самим НТ по принципу отрицательной обратной связи через ауторецепторы, локализованные на синтезирующем его нейроне [5, 7].

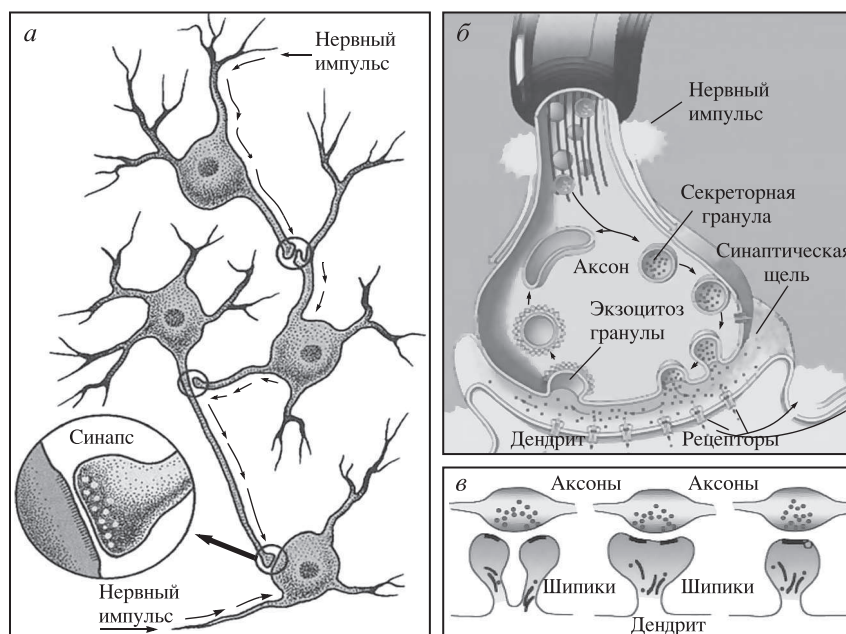


Рис. 1. Нейронные сети (*а*), в пределах которых информация циркулирует в виде электрического сигнала (стрелки) и передаётся от нейрона к нейрону в области синапсов (*б*, *в*) с помощью химических сигналов – нейротрансмиттеров

Синапс образован расширением аксона, оканчивающимся на дендрите, нередко образующем шипики. Нейротрансмиттер поступает из аксона в синаптическую щель в результате экзоцитоза секреторных гранул и действует на рецепторы нейрона-мишени [7]

Информация в области синапса передаётся нейрону-мишени в процессе взаимодействия НТ с “рецептором”, встроенным в постсинаптическую мембрану. Важным условием синаптической передачи является быстрая инактивация НТ после взаимодействия с рецептором в результате его ферментативного разрушения или обратного захвата в нейроны с помощью мембранного переносчика [7, 8].

Представления С. Рамона-и-Кахаля, Ч. Шеррингтона и их последователей [3] о взаимодействии нейронов в последнее время существенно расширены в результате обнаружения рецепторов к НТ по всей поверхности нейрона. Оказалось, что нейрон находится в окружении множества НТ, действующих на всю его поверхность, причём конечный эффект определяется результирующим вектором действия отдельных НТ. Это означает, что наряду с локальной синаптической нейротрансмиссией существует и диффузная объёмная нейротрансмиссия [9]. Концепция объёмной нейротрансмиссии сформулирована недавно, поэтому ключевой вопрос о том, каковы механизмы внутринейрональной интеграции действия НТ и формирования интегрального ответа нейрона, остаётся открытым.

Регуляция функций мозга и центральная регуляция периферических органов обеспечиваются ансамблями нейронов, расположенными нередко в различных отделах нервной системы. Так, в регуляции двигательной активности принимают участие нейроны, расположенные в коре, в базальных

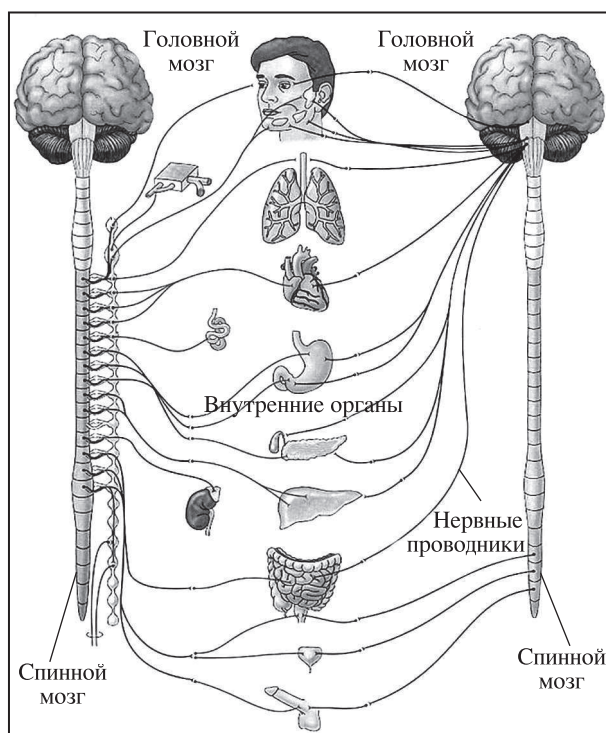


Рис. 2. Нервная регуляция внутренних органов, центральным звеном которой является мозг, а информация передается по нервным проводникам [7]

ганглиях мозга и спинном мозге, а в регуляции обучения и памяти – нейроны коры, гиппокампа и амигдалы [2].

Нервная и нейроэндокринная регуляция. Как упоминалось, одной из ключевых функций мозга является регуляция периферических органов и поддержание гомеостаза. В процессе эволюции сформировались два дублирующих механизма их реализации: механизм быстрой активации, но кратковременного действия – нервный тип регуляции и механизм несколько замедленной активации, но длительного действия – нейроэндокринный тип регуляции [1, 7, 10]. Нервная регуляция функций периферических органов обеспечивается нейронами головного мозга, спинного мозга и периферической нервной системы, образующими структурно-функциональные цепочки, по которым как по электрическим проводникам передаются команды от мозга к периферическим органам (рис. 2). В свою очередь, информация о состоянии этих органов и изменениях внутренней и внешней среды, воспринимаемая интеро- и экстерорецепторами, поступает по нервным проводникам в мозг и анализируется, что заканчивается принятием решения и формированием адекватного ответа [7].

В случае нейроэндокринной регуляции используется такая же восходящая цепочка нейронов, по которой информация об изменениях во внутренней и внешней среде поступает в мозг, но в этом случае конечным звеном в пределах мозга является гипоталамус (рис. 3), в котором сосредоточены так

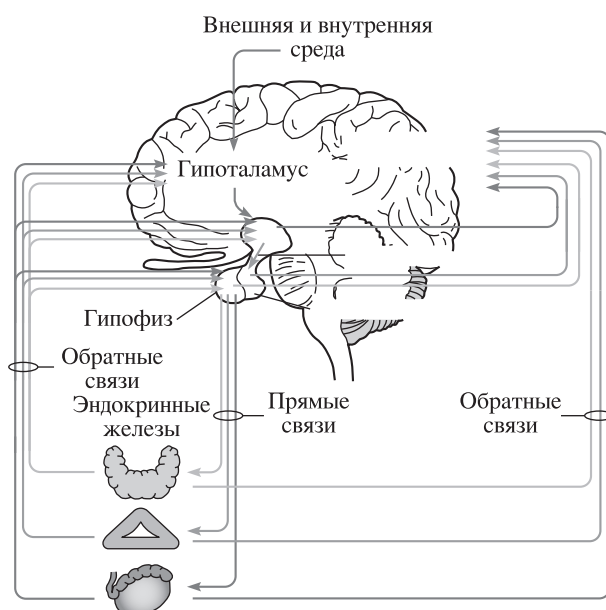


Рис. 3. Нейроэндокринная регуляция внутренних органов, центральным звеном которой является гипоталамус

Информация от интеро- и экстерорецепторов в виде нервных импульсов передаётся к гипоталамусу по нервным проводникам, а далее в виде химических сигналов по кровеносным сосудам к гипофизу и периферическим эндокринным железам [55]

называемые нейросекреторные нейроны, синтезирующие около 80% НТ [1, 11, 12]. В отличие от подавляющего большинства отделов мозга в гипоталамусе отсутствует гематоэнцефалический барьер, препятствующий транспорту НТ между мозгом и кровеносными сосудами. В этой области мозга НТ поступают из нейронов не в межклеточные щели, а в кровеносные сосуды, соединяющие гипоталамус и гипофиз [13]. Далее они действуют на гипофиз с такими же рецепторами, как у нейронов, регулируя его секреторную активность, а опосредованно через гипофиз – секреторную активность других эндокринных желёз и функциональную активность периферических органов. В свою очередь, гормоны периферических эндокринных желёз участвуют в регуляции гипофиза и мозга, включая гипоталамус, по принципу обратных связей, что делает нейроэндокринную систему замкнутой [1].

Пластичность нейрона и мозга. Некоторые загадочные явления функционирования мозга, описанные около 100 лет назад, невозможно было объяснить исходя из существовавших в нейробиологии догм: нейроны не воспроизводятся в течение жизни; нейронные сети и синапсы неизменны во времени и в пространстве; каждый нейрон может синтезировать только один НТ (“принцип Дейла” в наиболее распространённой его интерпретации); реализация генетической программы нейрона строго детерминирована [3, 6]. Так, известный российский физиолог, психиатр и невролог В.М. Бехтерев в начале XX в. обнаружил, что двигательная функция, нарушенная в результате частичного повреждения мозга, со временем восстанавливается. Объясняя это загадочное явление, В.М. Бехтерев исходил из представлений о том, что функции повреждённых участков мозга берут на себя неповреждённые участки в результате компенсаторной реорганизации нервных связей. Похожие наблюдения и выводы были сделаны и другими учёными – современниками В.М. Бехтерева. Известный итальянский психиатр Э. Лугаро писал: “Морфофункциональные взаимоотношения между нейронами могут изме-

няться в течение жизни, что способствует формированию психики... и даже компенсации функций после повреждения мозга...” [цит. по: 14], и назвал это явление пластичностью мозга.

Только в последние десятилетия или даже годы были открыты некоторые механизмы пластичности нейрона и мозга. Одно из проявлений пластичности секреторной способности нейрона – возможность обратимого включения специфического синтеза в соответствии с потребностями в нём организма и изменениями микроокружения нейрона. Примером может служить включение на уровне генома в вазопрессинергических нейронах синтеза окситоцина, регулирующего сократительную способность кровеносных сосудов и матки у лактирующих самок [15], и тирозингидроксилазы – первого фермента синтеза катехоламинов – в вазопрессинергических нейронах при их осмотической стимуляции [16, 17].

Как и предполагали Э. Лугаро и В.М. Бехтерев, одним из проявлений пластичности является реорганизация нейрональных ансамблей, сопровождающаяся новообразованием и исчезновением синапсов. К частным морфофункциональным проявлениям пластичности синапсов относится изменение числа и конфигурации постсинаптических шипиков. Кроме того, при гибели одних нейронов с утратой синаптических контактов у сохранившихся происходит компенсаторное ветвление аксонов, сопровождающееся формированием синапсов с денервированными нейронами [2, 3, 18].

И наконец, ещё одним примером пластичности мозга может служить недавно обнаруженное новообразование нейронов в мозге взрослых млекопитающих. Пока известны три отдела мозга, в которых образуются нейроны, – в окружении боковых желудочков, в гиппокампе и, возможно, в гипоталамусе; поиск такого рода отделов мозга продолжается [4, 19]. Второй вопрос, на который учёные стараются дать ответ: используется ли этот механизм для замещения нейронов при их дегенерации в норме, в процессе старения и при патологии? Третий и самый важный вопрос: каковы механизмы регуляции образования нейронов и их направленной миграции в очаги поражения?

Таким образом, механизмы пластичности мозга обеспечивают высокую надёжность его работы, а их изучение ещё не одно десятилетие будет рассматриваться в качестве “горячей точки” в области нейронаук.

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ МОЗГА ПРИ ПАТОЛОГИИ

Для познания механизмов деятельности мозга большой интерес представляют исследования “стареющего” и “болеющего” мозга. Так, выдающийся отечественный физиолог Л.А. Орбели справедливо считал, что следует использовать три подхода к изучению эволюции функций – в онтогенезе, в филогенезе и при патологии, причём это положение было распространено на все физиологические исследования. Л.А. Орбели указывал на относительную адекватность экспериментальных моделей реально происходящим физиологическим и особенно патологическим процессам в организме человека, и в мозге в частности. Поэтому он считал, что идеальной моделью для познания функций мозга человека служат патологические изменения в мозге человека, при которых происходит локальное выключение структур и функций этого органа. В то же время новые знания о клеточно-молекулярных

механизмах регуляторной деятельности мозга не только в норме, но и при патологии важно использовать для усовершенствования старых и разработки новых методов диагностики и лечения. Прогресс в этой области нейронаук позволит продлить интеллектуальное и физическое долголетие человека в период активной профессиональной деятельности, а также обеспечить успешное лечение и реабилитацию при старении и заболеваниях мозга.

Традиционные представления о причинах, механизмах развития, диагностике и лечении нейродегенеративных заболеваний. Здесь особое внимание уделено хроническим нейродегенеративным заболеваниям (НДЗ) мозга, которыми страдают миллионы людей, обычно после 50 лет, то есть на пике профессиональной активности. С возрастом частота этих заболеваний быстро возрастает, а с учётом увеличения продолжительности жизни в обозримом будущем прогнозируется удвоение числа больных. В первую очередь речь идёт о болезни Паркинсона, при которой нарушается двигательная активность, и о болезни Альцгеймера, сопровождающейся потерей памяти.

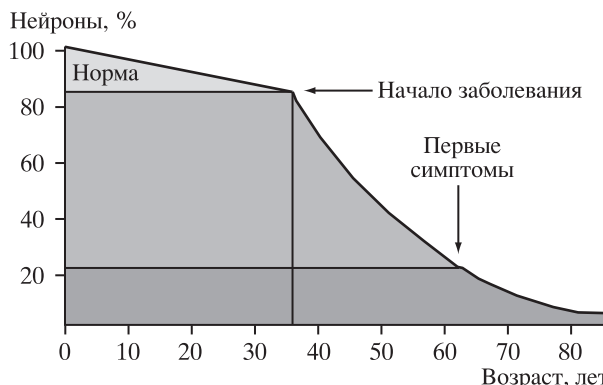
Причины, вызывающие развитие НДЗ, пока неизвестны и являются предметом научного поиска. Однако ясно, что один из факторов риска – генетическая предрасположенность, обусловленная мутациями генов, в результате которых в одних случаях появляются белки, обладающие общим токсическим действием по отношению к нейронам, а в других – нарушается синтез белков, необходимых для нормального функционирования нейронов [4, 20]. Кроме того, при НДЗ в организме появляются вещества, оказывающие избирательное токсическое влияние на определённые популяции нейронов [5, 21]. Для развития НДЗ характерно, что первые клинические симптомы появляются через 20–30 лет после начала патологического процесса и гибели большей части специфических нейронов (рис. 4).

Лечение НДЗ направлено на компенсацию функциональной недостаточности дегенерирующих нейронов с помощью лекарственных веществ, которые усиливают секрецию НТ сохранившимися нейронами, имитируют действие утраченного НТ, замедляют инактивацию НТ. Несмотря на то, что в совершенствование фармакотерапии вкладываются огромные средства, новые препараты способствуют относительно незначительному и кратковременному улучшению состояния больных. Затем болезнь быстро прогрессирует, что приводит к инвалидности и летальному исходу.

Поскольку традиционная фармакотерапия не позволяет вылечить больных, актуален вопрос о поиске новых подходов к диагностике и лечению НДЗ. В конце прошлого – начале нынешнего века в рамках Европейской программы Network for European CNS Transplantation and Restoration впервые были проведены клинические испытания клеточной технологии – нейротрансплантации – в лечении болезни Паркинсона. В этой программе принял участие и межведомственный российский коллектив (координаторы – А.Н. Коновалов и М.В. Угрюмов) [22, 23]. В денервированный стриатум больным пересаживали эмбриональные дофаминергические (ДА-ергические) нейроны, что сопровождалось их дифференцировкой и синтезом ДА, установлением синаптических связей с нейронами реципиента [24]. Несмотря на то, что нейротрансплантация приводила к улучшению состояния больного, положительная динамика отмечалась только у части больных и носила отно-

Рис. 4. Динамика гибели специфических нейронов в норме и при нейродегенеративном заболевании

В процессе жизни у человека погибает около 20% нейронов, что не отражается негативно на регуляции функций. При нейродегенеративном заболевании скорость гибели нейронов резко возрастает в возрасте 30–35 лет, и к 55–60 годам дегенерирует 70–80% нейронов, что приводит к появлению первых симптомов и переходу преклинической (досимптомной) стадии в клиническую. Отсутствие симптомов до пороговой гибели нейронов объясняется включением компенсаторных процессов [5]



сительно кратковременный характер [22, 23, 25]. В результате нейротрансплантация не была рекомендована для широкого клинического применения.

Основной причиной неудачи считается возможность пересадки по техническим причинам относительно небольшого числа нейронов и их постепенное отторжение, несмотря на проведение иммуносупрессорной терапии. Предполагается, что эти проблемы можно будет преодолеть в результате создания клеток с заданными свойствами путём модификации генома, причём наибольшие надежды связаны с использованием стволовых клеток [26]. Однако клиническим испытаниям с использованием этих клеток должны предшествовать фундаментальные исследования, которые бы определили, каким образом можно управлять пролиферацией стволовых клеток и обеспечивать их направленную дифференцировку [22, 23, 27]. Таким образом, несмотря на усилия неврологов, психиатров, нейробиологов, нейрофизиологов и других специалистов, лечение НДЗ остаётся малоэффективным.

Новые представления о патогенезе, диагностике и лечении нейродегенеративных заболеваний. До конца прошлого века при изучении механизмов развития НДЗ внимание обращали в основном на патологические процессы. Однако эти исследования не позволяют ответить на вопрос, почему первые клинические симптомы проявляются только после дегенерации большей части специфических нейронов, ответственных за регуляцию соответствующих функций. Наиболее плодотворной представляется идея, согласно которой по мере дегенерации нейронов включаются механизмы пластичности мозга, обеспечивающие компенсацию их функциональной недостаточности [5, 28, 29, 30].

В последние 15 лет установлено, что по мере дегенерации нейронов при НДЗ включаются последовательно два каскада компенсаторных процессов. Первый каскад способствует поддержанию нормальной межклеточной концентрации НТ [5, 28]. Однако в ходе продолжающейся дегенерации нейронов наступает момент, когда концентрация НТ в межклеточной среде начинает снижаться и опускается до уровня, при котором НТ уже не в состоянии оказывать влияние на нейроны-мишени. В этом случае включается второй каскад — увеличивается экспрессия рецепторов на нейронах-мишенях, то есть повышается их чувствительность к дефицитному НТ [5, 28, 29].

Исходя из представлений о важной роли в развитии НДЗ механизмов пластичности мозга можно сделать следующие выводы: первые симптомы проявляются после почти полной дегенерации специфических нейронов и истощения компенсаторных резервов мозга; лечение больных начинается в то время, когда уже практически отсутствуют мишени, на которые оно должно быть направлено; необходимо разработать преклиническую диагностику, что позволило бы уже на начальной стадии нейродегенеративного процесса проводить превентивную терапию, направленную на его остановку или хотя бы замедление. Если период гибели нейронов до порогового уровня, после которого проявляется симптоматика, удастся продлить на многие годы, то значительная часть больных не будет испытывать дискомфорта до естественного конца жизни.

Уже сегодня с помощью неинвазивного метода – позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) – можно обнаружить дегенерацию специфических нейронов в мозге человека в преклинической стадии [31]. Это было продемонстрировано на обезьянах, больных паркинсонизмом, вызванным введением нейротоксина ДА-ергических нейронов [32]. Однако ПЭТ относится к малодоступным и дорогостоящим методам и не может быть использована при диспансеризации населения. Отсюда следует, что для разработки преклинической диагностики НДЗ необходим поиск ранних биомаркеров, легко доступных для анализа. Обнаружение маркеров у внешне здоровых людей явилось бы основанием для включения их в группу риска и уточнения диагноза с помощью ПЭТ. Эта задача в ближайшие десятилетия, несомненно, будет одной из наиболее приоритетных в области нейронаук.

На основе первых попыток поиска маркеров преклинической стадии НДЗ можно выделить две их группы – клинические и биохимические. К клиническим маркерам относятся изменения функций, которые не имеют отношения к основной симптоматике НДЗ и не обременяют больного. Эти нарушения, очевидно, обусловлены патологическими процессами, предшествующими дегенерации специфических нейронов, определяющей основной ход развития НДЗ [33–37]. Согласно данным специального эпидемиологического исследования, побочные проявления болезни Паркинсона более чем на 10 лет предшествуют проявлению характерных моторных нарушений [38]. Перспективность поиска клинических предвестников НДЗ уже находит своё подтверждение. Так, у испытуемых с нарушением обоняния, но при отсутствии нарушений двигательной активности, характерных для болезни Паркинсона, с помощью ПЭТ была обнаружена функциональная недостаточность нигростриатной ДА-ергической системы [39]. Другими словами, диагноз болезни Паркинсона был поставлен в преклинической стадии по наличию клинического предвестника.

Наиболее перспективным направлением разработки преклинической диагностики НДЗ является поиск маркеров в гуморальных средах – в ликворе и крови, где, как в кривом зеркале, должны отражаться патологические процессы, происходящие в нервной системе. На основе этих представлений уже ведётся поиск маркеров, которые можно подразделить на четыре группы: патологические белки, характерные для НДЗ [40–42]; НТ, продуцирующиеся дегенерирующими нейронами, и их метаболиты [43]; гормоны эндокринных желёз [44, 45]; клетки крови, обладающие химическим фенотипом

специфических нейронов мозга, дегенерирующих при НДЗ [46, 47]; маркеры оксидативного стресса [48].

Не должно быть иллюзий в отношении существования специфичных маркеров, обнаружения одного из которых достаточно для включения испытуемого в группу риска. Действительно, все маркеры НДЗ являются относительно специфичными, то есть каждый из них может проявиться при различных заболеваниях [5, 31]. Поэтому преклиническая диагностика должна быть основана на тестировании многих относительно специфичных маркеров НДЗ, и только при одновременном проявлении у обследуемого человека нескольких маркеров он может быть включён в группу риска для последующей диагностики с помощью ПЭТ.

Несмотря на то, что идея разработки преклинической диагностики НДЗ возникла довольно давно, работа по выявлению маркеров до сих пор носит фрагментарный характер. Пока не предпринимались попытки объединить относительно специфичные, легко определяемые маркеры в диагностические “чипы” для использования их при диспансеризации населения. Настало время для систематического скринингового поиска маркеров, что и является в последние годы одной из важнейших задач междисциплинарного проекта по нейродегенеративным заболеваниям (координатор – М.В. Угрюмов) [5], в котором участвуют сотрудники 25 учреждений РАН, РАМН и Минсоцразвития РФ в рамках программы Президиума РАН “Фундаментальные науки – медицине” (координатор – А.И. Григорьев).

Разработка преклинической диагностики предполагает проведение как клинических, так и экспериментальных исследований с целью направленного поиска маркеров. Учитывая, что в настоящее время поиск маркеров у больных в преклинической стадии, то есть до появления симптомов, практически невозможен, их поиск осуществляется в ранней клинической стадии – сразу же после появления симптомов и до начала лечения. Предполагается, что по крайней мере часть маркеров, обнаруженных в ранней клинической стадии, характерна и для преклинической стадии. Выделить именно маркеры преклинической стадии можно будет с помощью ПЭТ (рис. 5). В рамках программы “Фундаментальные науки – медицине” уже получены предварительные обнадеживающие результаты по идентификации в качестве маркеров преклинической стадии болезни Паркинсона гормонов гипофиза и периферических эндокринных желёз, тонких изменений моторного поведения, изменений электрической активности мозга и мышц.

Поиск эндогенных маркеров преклинической стадии следует проводить не только у больных, но и на экспериментальных моделях. Наиболее адекватной является модель болезни Паркинсона, полученная с помощью нейротоксинов ДА-эргических нейронов [49]. В подавляющем большинстве работ использовались высокие полулетальные дозы токсина, что приводило к быстрому развитию клинической стадии, фактически минуя преклиническую. При пересчёте на среднюю продолжительность жизни человека и животных преклиническая стадия у животных на этой модели оказывается в 50–100 раз короче, чем у человека при болезни Паркинсона.

В рамках программы “Фундаментальные науки – медицине” впервые разработана и охарактеризована экспериментальная модель преклинической стадии паркинсонизма, не только приближающаяся по продолжительности

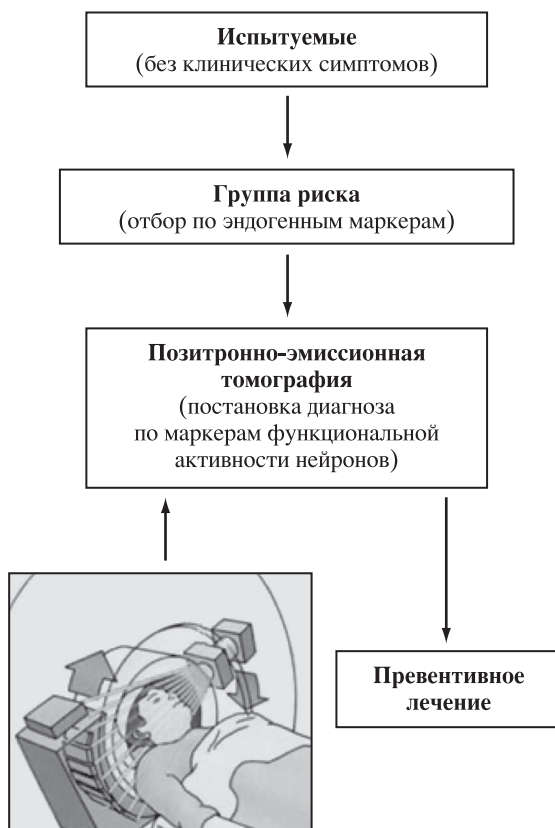


Рис. 5. Схема мероприятий, необходимых для постановки диагноза в преклинической стадии и начала превентивного лечения нейродегенеративного заболевания

к преклинической стадии у больных, но и впервые воспроизводя её различные фазы. При этом открываются новые возможности для изучения компенсаторных процессов, включающихся при дегенерации ДА-ергических нейронов, поиска маркеров преклинической стадии и разработки превентивной терапии.

Параллельно разработке преклинической диагностики следует разрабатывать, причём пока на экспериментальных моделях, превентивную терапию, направленную на остановку или хотя бы замедление нейродегенеративного процесса, а также на управление компенсаторными процессами [5,

31]. Значимость результата, который может быть при этом получен, вытекает из расчётов [31]: задержка начала клинической стадии на 5 лет может уменьшить частоту встречаемости этого заболевания вдвое, а задержка на 10 лет приведёт к отсутствию больных с проявившейся симптоматикой.

Превентивную терапию можно подразделить на неспецифическую и специфическую. Первая может быть построена на использовании ростовых или нейротрофических факторов – нейропептидов, которые, с одной стороны, предотвращают гибель нейронов, а с другой – стимулируют компенсаторные процессы [50, 51]. При этом могут быть использованы как синтетические ростовые факторы, так и фармакологические агенты, регулирующие их секрецию в мозге [5, 52, 53]. Основная проблема на пути использования синтетических ростовых факторов при их системном введении связана с отсутствием проницаемости для них гематоэнцефалического барьера [50]. Эту проблему можно решить, используя липидные капсулы или наночастицы-носители, хотя и в этом случае остаётся вопрос доставки ростовых факторов в определённые отделы мозга, подверженные нейродегенерации. При решении этой задачи надо иметь в виду три подхода: стереотаксическое введение ростовых факторов; стереотаксическую трансплантацию в мозг клеточных линий с включённым в геном гена ростового фактора и заключённых в полимерную капсулу с порами, проницаемыми для ростовых факторов; генотерапию – стереотаксическое введение вектора ростового фактора в мозг [50, 51, 54].

Наряду с неспецифической может быть использована и специфическая терапия, например в случае болезни Альцгеймера в виде антиамилоидных препаратов, а также генотерапия – введение в мозг векторов, несущих гены ферментов синтеза дефицитных НТ или кофакторов этих ферментов [4, 54].

Таким образом, из новых представлений о патогенезе нейродегенеративных заболеваний, основанных на понимании клеточно-молекулярных механизмов не только нейродегенеративного процесса, но и компенсаторных процессов, следует необходимость разработки преклинической диагностики и превентивного лечения, что, возможно, позволит продлить период бессимптомного развития этих заболеваний до конца биологической жизни потенциального больного.

Работа поддержана грантами: РФФИ-а 08-04-01084, РФФИ-офи 07-04-12211, РФФИ-НЦНИ_а 07-04-92173, РГНФ 09-06-00543а, грант Президента РФ по поддержке молодых научных сотрудников и ведущих научных школ НШ-2110.2008.4, программа ОБН РАН “Интегративные механизмы регуляции функций организма”, программа Президиума РАН “Фундаментальные науки – медицине”.

Литература

1. Угрюмов М.В. Механизмы нейроэндокринной регуляции. М.: Наука, 1999.
2. Squire L.R., Bloom F.E., McConnell S.K. et al. Fundamental Neuroscience. Amsterdam: Academic Press, 2003.
3. Albright T.D., Jessell T.M., Kandel E.R., Posner M.I. Neural science: a century of progress and mysteries that remain // Rev. Suppl. Cell. 2000. V. 100. Neuron. V. 25. S. 1–55.
4. Neirynck J. Your Brain and Your Self: What You Need to Know. Berlin: Springer, 2009.
5. Ugrumov M.V. Brain neurons partly expressing monoaminergic phenotype: distribution, development, and functional significance in norm and pathology // Handbook of Neurochemistry and Molecular Neurobiology, Neurotransmitter Systems. Heidelberg: Springer, 2008. P. 21–73.
6. Shepherd G.M. Creating Modern Neuroscience. The Revolutionary 1950s. Oxford–N.Y., 2010.
7. Meyer J.S., Quenzer L.F. Psychopharmacology: Drugs, the Brain, and Behavior. Sunderland: Sinauer Associates Inc., 2005.
8. Ugrumov M.V. Non-dopaminergic neurons partly expressing dopaminergic phenotype: Distribution in the brain, development and functional significance // Journ. Chem. Neuroanatomy. 2009. V. 38. P. 241–256.
9. Vizi E.S., Lendvai B. Synaptic and non-synaptic release of transmitters // Handbook of Neurochemistry and Molecular Neurobiology, Neurotransmitter Systems. Heidelberg: Springer, 2008. P. 101–111.
10. Угрюмов М.В. Нейроэндокринная регуляция в онтогенезе. М.: Наука, 1989.
11. Ugrumov M.V. Developing hypothalamus in differentiation of neurosecretory neurons and in establishment of pathways for neurohormone transport // Int. Rev. Cytol. 1991. V. 129. P. 207–267.
12. Ugrumov M.V. Hypothalamic monoaminergic system in ontogenesis: development and functional significance // Int. Journ. Dev. Biol. 1997. V. 41. P. 809–816.
13. Ugrumov M.V. Development of the median eminence during ontogenesis (morphofunctional aspects) // Prog. Brain Res. 1992. V. 91. P. 349–356.
14. Berlucchi G. The origin of the term plasticity in the neurosciences: Ernesto Lugaro and chemical synaptic transmission // Journ. Hist. Neurosci. 2002. V. 11. P. 305.
15. Landry M., Roche D., Angelova E., Calas A. Expression of galanin in hypothalamic magnocellular neurones of lactating rats: co-existence with vasopressin and oxytocin // J. Endocrinol. 1997. V. 155. P. 467–481.
16. Abramova M., Marsais F., Calas A. et al. Dynamical study of tyrosine hydroxylase expression and its correlation with vasopressin turnover in the magnocellular neurons of the supraoptic-

- posthypophysial system under long-term salt loading of adult rats // *Brain Res.* 2002. V. 925. P. 67–75.
17. *Ugrumov M.V.* Magnocellular vasopressin system in ontogenesis: Development and regulation // *Microsc. Res. Tech.* 2002. V. 56. P. 164–171.
 18. *Foehring R.C., Lorenzon N.M.* Neuromodulation, development and synaptic plasticity // *Can. Journ. Exp. Psychol.* 1999. V. 53. P. 45–61.
 19. *Gage F.H.* Mammalian neural stem cells // *Science.* 2000. V. 287. P. 1433.
 20. *Petrucelli L., Dickson D.W.* Neuropathology of Parkinson's disease // In: R. Nass, S. Przedborski (eds.) *Parkinson's disease: molecular and therapeutic insights from model systems.* Amsterdam. Elsevier. 2008. P. 35–48.
 21. *Fahn S.* Clinical aspects of Parkinson's disease // *Parkinson's disease: molecular and therapeutic insights from model systems* / Eds. R. Nass, S. Przedborski. Amsterdam: Elsevier, 2008.
 22. *Ugrumov M.V.* Neurotransplantation in treatment of Parkinson's disease // *Basal Ganglia and Thalamus in Health and Movement Disorders* / Eds. K. Kultas-Ilinsky and I.A. Ilinsky. Kluwer Acad. Plenum, 2001.
 23. *Угрюмов М.В., Коновалов А.Н., Гусев Е.И.* Итоги и перспективы использования клеточных технологий в лечении неврологических заболеваний // *Вестник РАМН.* 2004. № 11. С. 8–17.
 24. *Björklund A.* Dopaminergic transplants in experimental parkinsonism: cellular mechanisms of graft-induced functional recovery // *Curr. Opin. Neurobiol.* 1991. N 2. P. 683–689.
 25. *Lindvall O.* Update of fetal transplantation: the swedish experience // *Movement Disorders.* 1998. V. 13. Suppl. 1. P. 83–87.
 26. *Yasuhara T., Date I.* Intracerebral transplantation of genetically engineered cells for Parkinson's disease: toward clinical application // *Cell Transplant.* 2007. V. 16. P. 125–132.
 27. *Lindvall O., Kokaia Z.* Prospects of stem cell therapy for replacing dopamine neurons in Parkinson's disease // *Trends Pharmacol. Sci.* 2009. V. 30. P. 260–267.
 28. *Zigmond M.J.* Do compensatory processes underlie the preclinical phase of neurodegenerative disease? Insights from animal model of parkinsonism // *Neurobiol. Dis.* 1997. V. 4. P. 247–253.
 29. *Bezard E., Gross C.E.* Compensatory mechanisms in experimental and human parkinsonism: towards a dynamic approach // *Prog. Neurobiol.* 1998. V. 55. P. 93–116.
 30. *Bergstrom B.P., Garriss P.A.* "Passive stabilization" of striatal extracellular dopamine across the lesion spectrum encompassing the presymptomatic phase of Parkinson's disease: a voltammetric study in the 6-OHDA-lesioned rat // *Journ. Neurochem.* 2003. V. 87. P. 1224–1236.
 31. *DeKosky S.T., Marek K.* Looking backward to move forward: early detection of neurodegenerative disorders // *Science.* 2003. V. 302. P. 830–834.
 32. *Prunier C., Bézard E., Montharu J. et al.* Presymptomatic diagnosis of experimental Parkinsonism with 123IPE2I SPECT // *Neuroimage.* 2003. V. 19. P. 810–816.
 33. *Tetrud J.W.* Preclinical Parkinson's disease: detection of motor and nonmotor manifestation // *Neurology.* 1991. V. 41. Suppl. 2. P. 69–71.
 34. *Hawkes C.H., Shephard B.C., Daniel S.E.* Olfactory dysfunction in Parkinson's disease // *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 1997. V. 62. N 5. P. 436–446.
 35. *Goldstein D.S., Holmes C., Li S.T. et al.* Cardiac sympathetic denervation in Parkinson disease // *Ann. Intern. Med.* 2000. V. 133. P. 338–347.
 36. *Braak H., de Vos R.A., Bohl J., Del Tredici K.* Gastric alpha-synuclein immunoreactive inclusions in Meissner's and Aurbach's plexuses in cases staged for Parkinson's disease-related brain pathology // *Neurosci. Lett.* 2006. V. 396. N 1. P. 67–72.
 37. *Langston J.W.* The Parkinson's complex: Parkinsonism is just the tip of the iceberg // *Ann. Neurol.* 2006. N 4. P. 591–596.
 38. *Abbott R.D., Petrovich H., White L.R. et al.* Frequency of bowel movements and the future risk of Parkinson's disease // *Neurology.* 2001. N 3. P. 456–462.
 39. *Berendse H.W., Booij J., Francot C.M. et al.* Subclinical dopaminergic dysfunction in asymptomatic Parkinson's disease patients' relatives with a decreased sense of smell // *Ann. Neurol.* 2001. V. 50. N 1. P. 34–41.
 40. *Naoi M., Maruyama W., Dostert P., Hashizume Y.* N-methyl-(R)salsolinol as a dopaminergic neurotoxin: from an animal model to an early marker of Parkinson's disease // *Journ. Neural. Transm.* 1997. Suppl. 50. P. 89–105.

41. *Eller M., Williams D.R.* Biological fluid biomarkers in neurodegenerative parkinsonism // *Nat. Rev. Neurol.* 2009. V. 5. P. 561–570.
42. *Kester M.I., van der Vlies A.E., Blankenstein M.A.* CSF biomarkers predict rate of cognitive decline in Alzheimer disease // *Neurology.* 2009 V. 73. P. 1353–138.
43. *Jia J.P., Jia J.M., Zhou W.D. et al.* Differential acetylcholine and choline concentrations in the cerebrospinal fluid of patients with Alzheimer's disease and vascular dementia // *Chin. Med. Journ. (Engl.)* 2004. V. 117. P. 1161–1164.
44. *Ferrari C., Rampini P., Benco R. et al.* Functional characterization of hypothalamic hyperprolactinemia // *Journ. Clin. Endocrinol. Metab.* 1982. V. 55. P. 897–901.
45. *Bellomo G., Santambrogio L., Fiacconi M. et al.* Plasma profiles of adrenocorticotrophic hormone, cortisol, growth hormone and prolactin in patients with untreated Parkinson's disease // *Journ. Neurol.* 1991. V. 238. P. 19–22.
46. *Barbanti P., Fabbrini G., Ricci A. et al.* Increased expression of dopamine receptors on lymphocytes in Parkinson's disease // *Mov. Disord.* 1999. V. 14. P. 764–771.
47. *Buttarelli F.R., Capriotti G., Pellicano C. et al.* Central and peripheral dopamine transporter reduction in Parkinson's disease // *Neurol. Res.* 2009. V. 31. P. 687–691.
48. *Buhmann C., Arlt S., Kontush A., Möller-Bertram T. et al.* Plasma and CSF markers of oxidative stress are increased in Parkinson's disease and influenced by antiparkinsonian medication // *Neurobiol Dis.* 2004. V. 15. P. 160–170.
49. *Scheider J.S., Anderson D.W., Decamp E.* 1-methyl-4-phenyl-1,2,3,6-tetrahydropyridine-induced mammalian models of Parkinson's disease: potential uses and misuses of acute, and chronic models // *Parkinson's disease: molecular and therapeutic insights from model systems* / Eds. R. Nass, S. Przedborski. Amsterdam: Elsevier, 2008. P. 87–103.
50. *Fumagalli F., Racagni G., Riva M.A.* The expanding role of BDNF: a therapeutic target for Alzheimer's disease? // *Pharmacological Journ.* 2006. N 6. P. 8–15.
51. *Kirik D., Georgievska B., Behrstock S., Svendsen C.N.* Delivery of GDNF for Parkinson's disease: transition of a neuroprotective treatment strategy from basic sciences to clinical applications // *Restorative Therapies in Parkinson's Disease* / Eds. P. Brundin, C.W. Olanow. N.Y.: Springer, 2006.
52. *Chen Y., Tung Yu., Li B. et al.* Trophic factor counteract elevated FGF-2 induced inhibition of adult neurogenesis // *Neurobiology of Aging.* 2007. V. 28. P. 1148–1162.
53. *Гаврилова С.И., Колыхалов И.В., Фёдорова Я.Б. и др.* Возможности превентивной терапии болезни Альцгеймера: результаты 3-летнего проспективного открытого сравнительного исследования эффективности и безопасности курсовой терапии церебролизином и кавинтоном у пожилых пациентов с синдромом мягкого когнитивного снижения // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2009. № 12. С. 85–92.
54. *Elsworth J.D., Roth R.H.* Dopamine synthesis, uptake, metabolism, and receptors: relevance to gene therapy of Parkinson's disease // *Exp. Neurol.* 1997. V. 144. P. 4–9.
55. *Basic Neurochemistry. Molecular, Cellular and Medical Aspects.* 7th ed. / Eds. G.J Siegel, R.W. Albers, S.T. Brady, D.L. Price. Boston: Elsevier Academic Press, 2006.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ МЕЖНЕЙРОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

**Член-корреспондент РАН Л.Г. Магазаник
и член-корреспондент РАН Е.Е. Никольский**

Генетическая программа развития многоклеточных организмов закрепляет за группой клеток зародыша возможность превратиться в нервные клетки (нейроны). Эти клетки отличаются способностью отвечать на внешние раздражители генерацией электрических сигналов, быстро распространяющихся по наружной мембране. Нейроны разнообразны по форме, обладают, как пра-

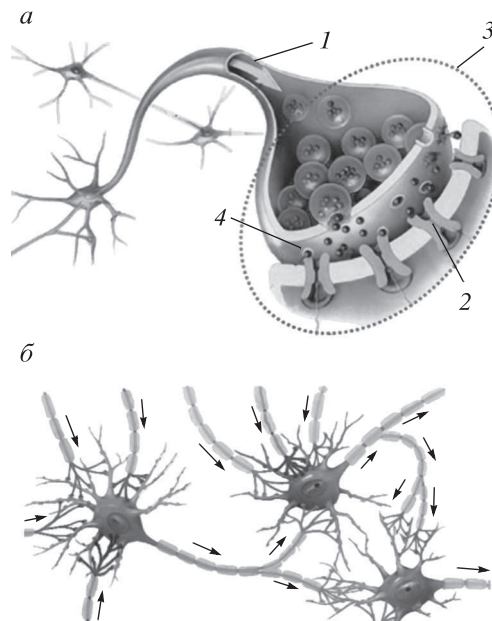
вило, многочисленными ветвящимися отростками, дендритами и аксоном. По дендритам информация поступает к телу нейрона, а по аксону – от его тела к иннервируемым клеткам. В течение короткого времени число нейронов в человеческом мозге путём многократного деления достигает 10^{11} – 10^{12} . “Новорождённые” нейроны, мигрируя, занимают определённые места в будущем здании мозга, и начинается важнейший процесс, абсолютно необходимый для выполнения специфических функций мозга, – нейроны устанавливают многообразные структурные связи друг с другом. Такие структуры, названные в 1897 г. замечательным британским нейрофизиологом Ч. Шеррингтоном синапсами (в переводе с греческого – контакты), обеспечивают нейронам возможность получать и обрабатывать информацию, хранить и обмениваться ею [1].

Уже на заре эволюции живых существ природа нашла способ делать это достаточно надёжно и быстро, создав химические синапсы (рис. 1). Аксоны одного нейрона (пресинаптического) подходят к телу или отросткам другого нейрона (постсинаптического) очень близко, однако их мембраны не сливаются, между ними остаётся щель шириной около 50 нм. Синаптическая щель заполнена межклеточной жидкостью, хорошо проводящей электрический ток и выполняющей роль шунта, что весьма затрудняет переход электрического сигнала непосредственно с одного нейрона на другой. Поэтому электрические синапсы являются скорее исключением, чем правилом. В нейроне, образующем химические синапсы, возбуждающий электрический сигнал распространяется в пределах пресинаптического нейрона, приходит в окончания его отростков и вызывает освобождение в пространство синаптической щели небольших порций (квантов), со держащих несколько тысяч молекул вещества посредника (медиатора или трансмиттера). Молекулы медиатора взаимодействуют со специализированными белковыми структурами, вмонтированными в поверхностную мембрану постсинаптической клетки, – синаптическими рецепторами. Рецептор “узнаёт” медиатор и переводит этот химический сигнал на язык, понятный постсинаптическому нейрону. Сегодня известно несколько десятков нейромедиаторов, среди которых такие низкомолекулярные вещества, как ацетилхолин, адреналин, норадреналин, глутамин, гамма-аминомасляная кислота, серотонин, гистамин, АТФ и др. При этом некоторые медиаторы могут участвовать в передаче как возбуждающего влияния на нейрон, так и тормозящего, в зависимости от рецептора, с которым они взаимодействуют [2].

Существуют два основных типа постсинаптических рецепторов. Первый – это ионотропные рецепторы, являющиеся лиганд-управляемыми ионными каналами (например, никотиновый рецептор ацетилхолина, рецептор глицина, определённые подвиды рецепторов глутамата и др.). Общий принцип их работы таков: молекулы медиатора взаимодействуют с узнающим участком рецептора. В результате изменяется конформация рецепторного комплекса, что приводит к “открытию ворот” ионного канала, то есть канал становится на короткое время (миллисекунды) проницаемым для ионов определённого сорта. Затем канал закрывается, как правило, одновременно с диссоциацией молекул медиатора. Таким образом, происходит вторичная трансформация сигнала, теперь уже из химической формы в электрическую. Этот способ реализации действия медиатора очень важен для быстрой

Рис. 1. Схема синапса

а – аксон пресинаптического нейрона (1), рецепторы постсинаптического нейрона (2), зона синапса (3), молекулы медиатора (4); *б* – участок нейрональной сети и многочисленные синаптические связи между нейронами



передачи сигнала от нейрона к нейрону. Рецепторы другого типа – метаботропные – активируются тем же набором медиаторов, но обеспечивают связь с каскадом внутриклеточных белков, ферментов, управляющих синтезом и разрушением вторичных посредников. Продукт их активации – не только появление в нейроне нового электрического сигнала, но долговременная перестройка разнообразных функций нейрона, включая метаболизм, экспрессию белков и др. Низкая скорость передачи сигнала при этом компенсируется очень большим его усилением (до сотен тысяч раз) и необходимой в ряде физиологических ситуаций большей длительностью действия.

Химический синапс обладает рядом явных достоинств. Во-первых, достигается относительная конфиденциальность, потому что роль медиаторов выполняют разные молекулы, фигурально выражаясь, общение может вестись на разных химических языках. Во-вторых, сигнал здесь усиливается, потому что через активированные рецепторные каналы, сосредоточенные на небольшом участке нейрона, за короткое время проходит большое количество ионов, что вызывает появление электрического сигнала, способного распространяться по отросткам нейронов. Это обеспечивает оптимальное соотношение шум:сигнал. И, наконец, третье, не менее важное преимущество: амплитуда и длительность синаптических сигналов может оперативно управляться путём изменения как количества и времени действия медиатора, так и числа вовлечённых в передачу типов постсинаптических рецепторов, а также с помощью модуляционных воздействий на молекулярные компоненты синапсов [1, 2].

Непременным условием осуществления таких сложнейших функций мозга, как восприятие сигналов внешней среды, мышление, обучение, эмоции, речь, память, служит надёжная, быстрая и в то же время гибкая, пластичная связь между нейронами. Она обеспечивается целым рядом тесно связанных между собой механизмов управления синаптической передачей: влиянием на процесс вызванного освобождения медиатора из пресинаптических нервных окончаний; эффективностью процесса удаления медиатора из синаптической щели после окончания его основного действия; изменением вовлечённости тех или иных типов рецепторов и плотности их расположения на постсинаптической мембране; изменением молекулярной структуры этих рецепторов и тем самым их функциональных свойств; изменением числа синаптических

контактов нейрона с другими нейронами и их расположения на его теле и отростках.

Каждый нейрон устанавливает непосредственные синаптические связи в среднем с тысячей других нейронов, находящихся по соседству или расположенных в других отделах мозга. Так возникают динамичные структуры, нейронные сети, их клеточный состав и специализация обусловлены генетически и/или формируются по мере выполнения определённых функций (аналог обучения).

Специализация конкретного нейрона, круг его функциональных обязанностей обусловлены его происхождением, местом в сети, комплексом синаптических связей с другими нейронами. Перестройки синаптических связей происходят в широком временном диапазоне – от минут до дней и месяцев. Совокупность молекулярных и морфологических изменений управляется активностью нервных сетей, тем самым отвечает насущным потребностям реализации как простых, так и самых сложных функций нервной системы. Поэтому любое детальное исследование работы мозга опирается на знание свойств синапсов, их молекулярного строения и функциональной организации. Это, можно сказать, самый фундамент фундаментального исследования мозга. Неудивительно, что только в 2008 г. в мире опубликовано более 49 тыс. научных статей, ключевыми словами в которых являются “синапс” и “синаптическая функция”.

Не будет преувеличением утверждать, что патологические процессы и экстремальные состояния в нервной системе всегда сопровождаются нарушениями нормальной деятельности синапсов. Поэтому и коррекция таких состояний с помощью лекарственных веществ, как правило, включает специфическое воздействие на определённые типы синапсов и/или их молекулярные компоненты. Из года в год расширяется арсенал химических средств воздействия на синаптическую передачу. Они выступают в качестве инструментов изучения синапсов и потому незаменимы при исследованиях нервной деятельности, проводимых на всех её уровнях в норме и патологии. Анализ механизмов действия уже применяемых и вновь создаваемых лекарственных веществ способствует познанию молекулярной природы синаптической передачи и созданию теоретической базы для успешного поиска новых лекарств. Обнаруживаемые эффективные молекулы служат как инструментами исследования свойств мишени лекарства, так и прообразом лекарств, перспективных для клинического применения.

Примеров много, приведём лишь несколько, относящихся к проблемам, в решении которых принимают участие авторы настоящего доклада.

В лаборатории биофизики синаптических процессов Казанского института биохимии и биофизики Казанского научного центра РАН проводятся широкие исследования изложенных выше механизмов на примере нервно-мышечной синаптической передачи. Независимо от видовой и функциональной принадлежности синапсов большая часть процессов, происходящих в них, и в особенности процессы нейросекреции, принципиально схожи, будь то межнейронный синапс центральной нервной системы или нервно-мышечное соединение. Именно поэтому нервно-мышечный синапс можно использовать как удобную модель для изучения молекулярных механизмов регулирования синаптической передачи, для выявления патогенеза ряда заболеваний цент-

ральной и периферической нервной системы, а также для поиска и создания новых фармакологических препаратов, избирательно модулирующих разные этапы синаптической передачи.

Согласно классическим представлениям о механизме передачи возбуждения с мотонейрона спинного мозга на мышечное волокно, из окончания двигательного нерва в ответ на каждый стимул выделяется от нескольких десятков до нескольких сотен квантов ацетилхолина. Чтобы осуществилась основная функция нервно-мышечного соединения, то есть нервный импульс вызвал возникновение потенциала действия и последующее сокращение мышечного волокна, амплитуда постсинаптического ответа должна достигать критического уровня его деполяризации [1]. Очевидно, что на пресинаптическом уровне – на уровне работы механизма секреции – амплитуда результирующего ответа зависит от количества выделившихся квантов, то есть от квантового состава и содержания молекул ацетилхолина в каждом кванте. Однако уже более 30 лет назад основателями квантово-везикулярной теории секреции было показано, что отдельные кванты медиатора выделяются через разные временные интервалы после прихода нервного импульса, поэтому можно говорить о несинхронности выделения отдельных порций ацетилхолина [3]. Таким образом, помимо квантового состава и размера кванта процесс освобождения медиатора можно охарактеризовать и параметрами, описывающими его временной ход или кинетику, – распределением во времени моментов выделения отдельных квантов медиатора.

В последние десятилетия сформировалась гипотеза о том, что кинетика освобождения квантов медиатора может быть фактором, вносящим вклад в формирование амплитудно-временных параметров постсинаптического ответа [4]. Иллюстрацией этого может служить простая схема, демонстрирующая, как изменяется форма суммарного сигнала, если кванты медиатора выделяются с разными интервалами после прихода нервного импульса. Если элементарные ответы (в результате выделения отдельных квантов) возникают с одинаковыми задержками, то амплитуда суммарного ответа будет кратна амплитуде одноквантового сигнала, а время его нарастания равно времени нарастания одноквантового сигнала. При разных моментах освобождения отдельных квантов амплитуда суммарного ответа имеет меньшую амплитуду, затянутый передний фронт, и сигнал может не достигать уровня критической деполяризации, тем самым не обеспечивать эффективной синаптической передачи (рис. 2).

Вопрос о регуляции интенсивности вызванной секреции квантов и временного хода их освобождения в настоящее время особенно широко обсуждается в литературе, касающейся процессов регулирования синаптической передачи, поскольку получение ответа на него может стать существенным шагом на пути раскрытия механизмов экзоцитоза. Главным фактором, определяющим количество освобождаемых квантов медиатора из нервного окончания после прихода нервного импульса, являются ионы кальция. Нами исследована зависимость изменения кинетики секреции квантов от концентрации ионов кальция. Результаты показали, что по мере повышения содержания ионов кальция в среде возрастает степень одновременности выделения квантов медиатора, при этом реконструкция суммарного тока концевой пластинки продемонстрировала дополнительное, не связанное с повышением

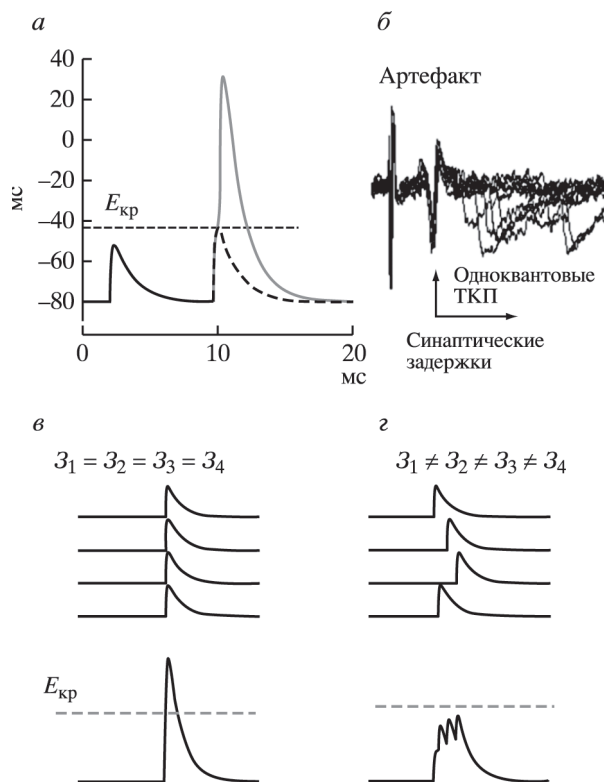


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая вклад “несинхронности” отдельных сигналов в амплитудно-временные характеристики суммарного постсинаптического ответа

а – генерация постсинаптического ответа после достижения потенциалом концевой пластинки критического уровня деполаризации мышечного волокна; *б* – суперпозиция одноквантовых токов концевой пластинки (ТКП) в нервно-мышечном синапсе лягушки, демонстрирующая разброс моментов появления ответов на стимуляцию двигательного нерва, то есть асинхронность секреции; *в* – результат суммирования ответов, возникающих с одинаковыми синаптическими задержками, то есть синхронно; многоквантовый ответ (нижняя кривая) достигает уровня критической деполаризации (показан пунктиром); *г* – результат суммирования ответов, возникающих с разными синаптическими задержками, несинхронно, многоквантовый ответ (нижняя кривая) не достигает уровня критической деполаризации (показан пунктиром)

квантового состава увеличение амплитуды постсинаптического ответа. Однако изменение кинетики освобождения квантов наблюдалось не во всём диапазоне изменения концентрации ионов кальция, по мере приближения к нормальному ионному составу среды кинетика секреции квантов переставала различаться, несмотря на существенное возрастание количества освобождаемых квантов медиатора. Таким образом, проведённые исследования, демонстрирующие, что изменение интенсивности освобождения квантов может не сопровождаться изменением кинетики их выделения, позволяют сделать важный вывод о том, что механизмы, регулирующие количество выделяемых квантов и временной ход их секреции различны [5].

Согласно нашим исследованиям, амплитуда многоквантового постсинаптического ответа может меняться не только за счёт изменения количества освобождаемых квантов медиатора, но и при изменении временного хода их секреции: синхронизация процесса выделения квантов приводит к повышению амплитуды сигнала, десинхронизация, напротив, вызывает её снижение. В связи с этим возник вопрос: не может ли быть связано изменение амплитуды сигналов под действием различных физиологически активных соединений с их влиянием на кинетику секреции квантов? Хорошо известно, что холинергические вещества, то есть сам ацетилхолин и его аналоги, угнетают синаптическую передачу, приводя к уменьшению постсинаптического ответа, которое на пресинаптическом уровне обусловлено снижением квантового состава. В связи с этим нами была проведена оценка влияния

ближайшего аналога ацетилхолина – карбахолина на временной ход выделения квантов медиатора. Мы проанализировали кинетику секреции квантов в присутствии карбахолина и по характеру распределения латентных периодов одноквантовых ответов определили, что имеет место возрастание степени асинхронности выделения квантов медиатора, которое устранялось после удаления вещества из раствора [6] (рис. 3, *а, б*). Математическое моделирование показало, что такое увеличение асинхронности секреции приводит к дополнительному, не обусловленному уменьшением количества выделившихся квантов, снижению амплитуды постсинаптического ответа. Если холиномиметики, вызывающие снижение амплитуды ответа и приводящие тем самым к угнетению синаптической передачи, стимулировали повышение асинхронности выделения квантов, то возможно, вещества, обладающие облегчающим эффектом на процесс передачи сигнала с нерва на мышцу, могут иметь противоположное влияние на степень синхронности выделения квантов. Давно известно, что катехоламины способны облегчать синаптическую передачу, приводя к повышению амплитуды вызванного постсинаптического ответа. Проведённые исследования показали, что норадреналин синхронизирует процесс выделения квантов нейромедиатора, тем самым вызывая увеличение амплитуды постсинаптического ответа даже без повышения количества выделившихся квантов (рис. 3, *в, г*).

Ацетилхолинэстераза (АХЭ) – один из ключевых ферментов, обеспечивающих нормальное функционирование холинергических синапсов за счёт ограничения времени действия медиатора ацетилхолина, освобождающегося из нервных окончаний. Ингибиторы этого фермента традиционно применяются в медицинской практике при заболеваниях, лечение которых требует продления времени действия медиатора ацетилхолина в синаптической щели (деменция, сопровождающая болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона, черепно-мозговые травмы, сосудисто-мозговые патологии, миастения гравис, спастические формы детского церебрального паралича, атонии кишечника и мочевого пузыря, глаукома). Описано успешное применение антиАХЭ-препаратов и при других расстройствах, когда возможны нарушения в холинергической системе, включая гиперкинетическое расстройство с дефицитом внимания, аутизм, расстройства сна, шизофрению, маниакально-депрессивный психоз, алкоголизм. Особый интерес представляет использование антиАХЭ-препаратов для профилактики и лечения аритмий, возникающих вследствие развития инфаркта миокарда. У животных с экспериментально вызванным инфарктом сердца вероятность возникновения летальной аритмии снижается приблизительно в 5 раз в случае применения ингибиторов ацетилхолинэстеразы или стимуляции блуждающего нерва.

Однако широкому использованию антиАХЭ-препаратов в медицинской практике препятствует недостаток, присущий большинству ингибиторов, – отсутствие избирательности по отношению к ферменту разных органов и тканей. Вследствие этого одновременно с воздействием на орган, требующий фармакологического вмешательства, происходит ингибирование фермента в органах, функционирование которых в данный момент в коррекции не нуждается. В частности, побочное действие антиАХЭ-препаратов включает мышечные фасцикуляции, диарею, повышенное слюноотечение, тошноту, рвоту, боли в животе, диспепсию, брадикардию, аритмии, бронхоспазм,

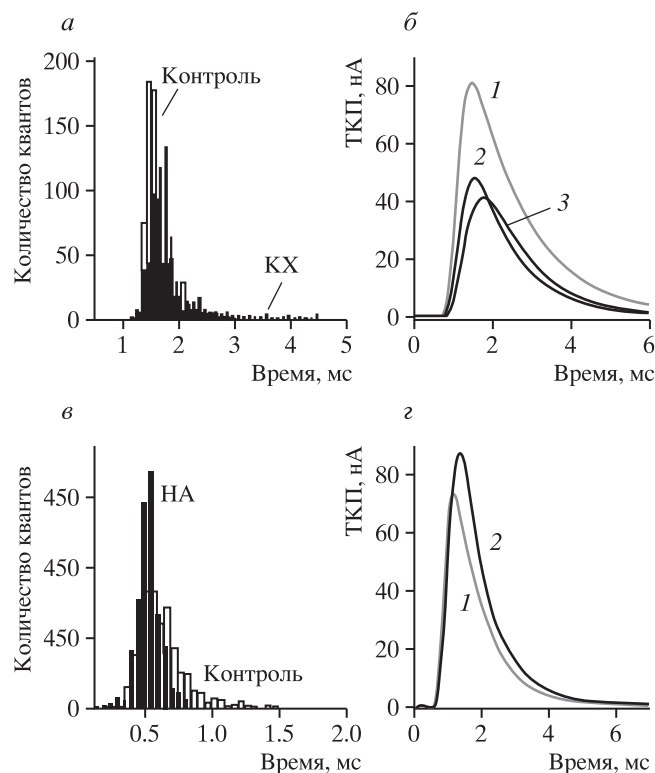


Рис. 3. Влияние холиномиметика карбахолина (КХ) и адреномиметика норадреналина (НА) на синхронность выделения квантов ацетилхолина в нервно-мышечном синапсе

а – гистограммы латентных периодов одноквантовых токов концевой пластинки, формирующих многоквантовый ответ: в контроле (светлые столбцы) и в присутствии карбахолина (тёмные столбцы), под действием карбахолина гистограмма расширяется, свидетельствуя об увеличении асинхронности секреции квантов; *б* – многоквантовые токи концевой пластинки (ТКП) в контроле (1), при добавлении в среду карбахолина при учёте уменьшения только количества освободившихся квантов нейромедиатора (2) и при учёте дополнительного вклада увеличения асинхронности выделения квантов (3); *в* – гистограммы латентных периодов одноквантовых токов концевой пластинки, формирующих многоквантовый ответ: в контроле (светлые столбцы) и в присутствии норадреналина (тёмные столбцы), под действием норадреналина в гистограмме исчезают ответы с большими латентными периодами, что свидетельствует об уменьшении асинхронности секреции квантов; *г* – много квантовые токи концевой пластинки в контроле (1) и в присутствии норадреналина (2), амплитуда ответа под действием норадреналина возрастает только за счёт синхронизации процесса выделения квантов медиатора

повышение бронхиальной секреции, гипотензию и т.д. Отсутствие органо- и тканеспецифичности ингибиторов АХЭ является причиной чрезвычайно низкого “терапевтического индекса” – отношения летальной дозы к эффективной. С токсикологической точки зрения эти препараты и лечат, и убивают практически в одних и тех же дозах. Низкая избирательность действия – причина частых нежелательных последствий (вплоть до летальных исходов) из-за нарушения работы дыхательной мускулатуры.

Для расширения области применения ингибиторов АХЭ в медицинской практике необходим синтез новых соединений, характеризующихся высокой антихолинэстеразной активностью и терапевтической безопасностью. Вышеописанных недостатков могли бы быть лишены ингибиторы АХЭ,

способные оказывать избирательный эффект в отдельных органах и тканях. Однако и сегодня веществ с подобными свойствами нет.

При исследовании нового класса ингибиторов ацетилхолинэстеразы – алкиламмониевых производных 6-метилурацила, синтезированных в Институте органической и физической химии им. А.Е. Арбузова Казанского научного центра РАН, нами было установлено, что пороговая концентрация одного из наиболее эффективных соединений – № 547, вызывающая изменения амплитудно-временных параметров синаптических ответов, характерные для практически полного ингибирования АХЭ, в синапсах дыхательной мышцы (диафрагма) в 100 раз больше, чем в синапсах локомоторных мышц [7]. То есть синапсы диафрагмы значительно более устойчивы к действию данного соединения по сравнению с мышцами конечностей. Нами получены предварительные данные, что АХЭ сердца и мозга, по всей видимости, значительно менее эффективно ингибируются алкиламмониевыми производными 6-метилурацила, по сравнению с АХЭ скелетных мышц. Константы ингибирования АХЭ соединением № 547, полученные на гомогенатах мышц, на четыре порядка отличаются от констант ингибирования, полученных для сердца или мозга, что свидетельствует о создании соединений, избирательно ингибирующих ацетилхолинэстеразы мозга и миокарда или скелетной мускулатуры.

Наличие наряду с квантовой формой секреции медиатора неквантового освобождения ацетилхолина ставит вопрос о роли этого вида секреции в регуляции пластических свойств синапса. Полученные нами ранее данные об участии ацетилхолина, освобождаемого неквантовым путём, в контроле свойств скелетного мышечного волокна дают основания для дальнейших исследований вклада неквантовой секреции в формирование амплитудно-временных параметров постсинаптического ответа посредством влияния на состояние как рецепторно-канальных комплексов, так и свойств электрогенной мембраны мышечного волокна. Другой аспект действия “неквантового” ацетилхолина, важный для модуляции синаптической передачи, – его возможное участие в регуляции секреторного процесса из нервных окончаний посредством активации пресинаптических рецепторов. В ходе проведённых нами исследований выявлена роль ацетилхолина, освобождаемого неквантовым путём, в поддержании величины мембранного потенциала мышечного волокна в области синаптического контакта, что указывает на важную физиологическую роль неквантовой секреции. Впервые показано, что в нервно-мышечном соединении млекопитающих имеет место холинергический механизм регуляции неквантового освобождения медиатора посредством активации постсинаптических мускариновых холинорецепторов M_1 -типа с последующим увеличением активности NO-синтазы мышечного волокна и ретроградным действием образованного оксида азота на процессы, обеспечивающие неквантовое выделение ацетилхолина из двигательного нервного окончания [8].

В лаборатории биофизики синаптических процессов Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова на протяжении ряда лет проводятся интенсивные исследования молекулярной организации рецепторов глутамата и поиск блокаторов этих рецепторов, необходимых для предотвращения их гиперфункции.

Интерес к проблеме продиктован тем, что аминокислота глутамат является основным возбуждающим медиатором в центральной нервной системе позвоночных. Нервная терминаль пресинаптического нейрона освобождает кванты глутамата, которые взаимодействуют со специфическими рецепторами, открывая ионные каналы ионотропных рецепторов, что приводит к возбуждению постсинаптического нейрона. К настоящему времени в мировой литературе накоплены обширные сведения о строении и функции глутаматных рецепторов. Ионотропные глутаматные рецепторы представлены тремя типами, различающимися по субъединичному строению, биофизическим свойствам и функциональному назначению, – NMDA, AMPA и каинатные [9]. Все они тетрамеры, то есть являются комплексами четырёх субъединиц. Клонирование позволило узнать аминокислотные последовательности рецепторных субъединиц, формирующих ионный канал и их топологию в мембране. АМПА-рецепторы вовлечены в генерацию быстрых возбуждающих сигналов, тогда как постсинаптические потенциалы, вызванные активацией рецепторов NMDA-типа, имеют более медленный временной ход. Каналы NMDA-рецепторов, в отличие от большинства АМПА-рецепторов, обладают функционально значимой проницаемостью для ионов кальция. Другое важное различие между двумя типами состоит в том, что ток ионов через открытые каналы NMDA-рецепторов становится возможным только при деполяризации нейрона, поскольку при нормальном потенциале каналы блокированы ионами магния. Обе особенности позволяют этому “тандему” рецепторов осуществлять тонкую регулировку амплитуды и длительности одиночных возбуждающих сигналов, а также определяют зависимость ответа нейрона от частоты их поступления. В частности, феномены долговременной потенциации или депрессии, когда относительно короткая пачка высокочастотных стимулов приводит к последующим изменениям в синаптической передаче, наблюдаемым в течение часов и дней, обязаны согласованной работе NMDA и АМПА глутаматных рецепторов. Есть достаточные основания считать, что подобные механизмы лежат в основе таких важных функций, как память и обучение.

Нарушения функции нейронов, вызванные патологическими процессами в глутаматергической синаптической передаче, обнаружены при многих неврологических заболеваниях [10]. Они могут быть следствием избыточной активности глутаматных рецепторов при нарушениях мозгового кровообращения, травмах мозга, судорожном синдроме разного происхождения. Некоторые хронические нейродегенеративные заболевания, такие как болезнь Хантингтона, болезнь Альцгеймера, амиотрофический боковой склероз, деменция при СПИДе, наркомании, хронический алкоголизм, также сопровождаются отклонениями в деятельности глутаматных рецепторов. Повышенная активация ионотропных глутаматных рецепторов приводит к длительной деполяризации и входу избыточных количеств кальция в нейрон. Системы удаления ионизированного кальция не справляются с такой нагрузкой, в результате развёртывается патологический процесс, который начинается с нарушений в работе митохондрий, являющихся энергетическими фабриками живых клеток, и завершается их гибелью.

Из этого краткого перечня факторов, способствующих повреждающему действию избыточного глутамата, становятся очевидными пути терапевти-

ческого воздействия. Логика подсказывает, что чем ближе к первопрочине и чем специфичнее звено патологического процесса, на которое направлено это воздействие, тем выше шансы на успех. Поэтому многочисленные усилия направлены на поиск нейропротекторов среди антагонистов глутаматных рецепторов. Тем более что бороться с последующими звеньями, то есть с последствиями повреждающего действия избыточного кальция и длительной деполяризации чувствительных к глутамату нейронов, гораздо труднее.

Какие антагонисты глутаматных рецепторов могут найти клиническое применение? Естественно, они должны быть избирательными, а именно, в терапевтических дозах взаимодействовать преимущественно с глутаматными рецепторами. Желательно также, чтобы их действие было направлено на определённый тип или подтип рецепторов. И, наконец, пожалуй, самое главное требование – чтобы их эффективность возрастала по мере увеличения числа активированных рецепторов, иначе говоря, чтобы их ингибирующее действие было минимальным в условиях нормальной физиологической активности глутаматергических систем, но было бы направлено на очаги патологически избыточного освобождения и действия глутамата.

У рецепторов есть два наиболее доступных для воздействия ингибиторами участка (рис. 4). Первый – это узнающий центр, где ингибитору приходится вступать “в прямую схватку” с ионами глутамата за обладание этим центром. Здесь прямая конкуренция: чем выше концентрация глутамата, тем выше должна быть концентрация конкурентного антагониста. Другой участок – ионный канал рецептора, где имеет место неконкурентное действие. Ингибиторы входят в уже открытый канал, подобно проникающим ионам, связываются с определёнными сайтами на его стенках, что приводит к блокаде проводимости через этот канал. В терапевтических дозах конкурентные антагонисты подавляют нормальную физиологическую активность глутаматергических систем сильнее, чем патологическую, что подтверждается экспериментальными данными. Поэтому конкурентные антагонисты мало-перспективны в качестве средств лечения нейродегенеративных заболеваний. Блокада каналов ионотропных глутаматных рецепторов, в особенности открытого состояния этих каналов, стратегически более правильна, поскольку ингибитор не воздействует на покоящийся канал, но существенно снижает суммарный глутаматвызванный ионный ток с самого начала его генерации.

Стало быть, поиск следует вести среди неконкурентных блокаторов, в частности блокаторов открытого канала ионотропных глутаматных рецепторов. Тем не менее пока только один лекарст-

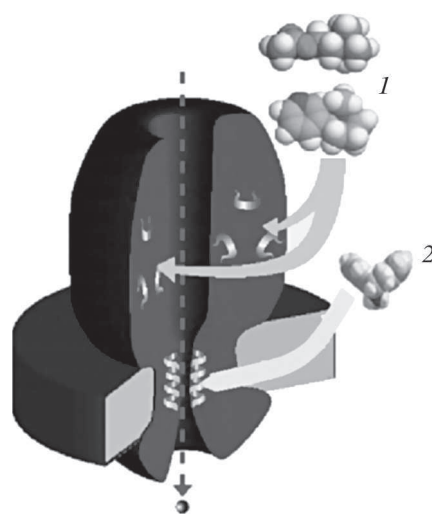


Рис. 4. Локализация участков связывания (1) агонистов и конкурентных антагонистов (2), неконкурентных антагонистов – каналоблокаторов в молекуле постсинаптического ионотропного рецептора

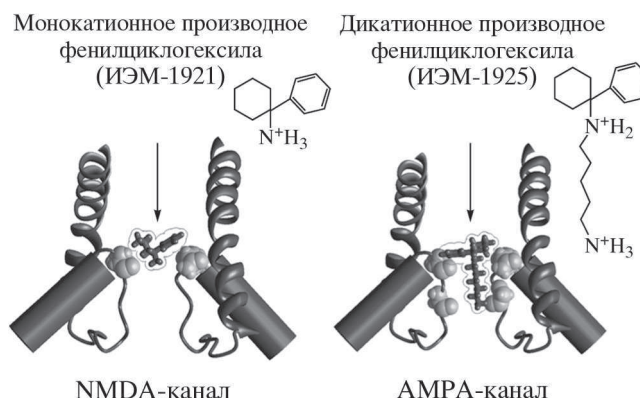
венный препарат, обладающий таким механизмом действия, – блокатор глутаматных рецепторов NMDA-типа мемантин – нашёл применение в клинической практике, преимущественно при лечении болезни Альцгеймера [11]. Примечательно, что мемантин был синтезирован давно и разрешён к применению в случаях болезни Паркинсона, но оказался неэффективным. И лишь много позже, когда была установлена способность мемантина блокировать открытые каналы NMDA-рецептора, удалось найти ему практическое применение. Синтезированы и опубликованы структуры сотен блокаторов NMDA-рецепторов, но все они не удовлетворяют в полной мере требованиям клиники. Вплоть до настоящего времени задача решается в значительной мере методом бессистемного поиска. Реальный выход таких работ крайне мал по сравнению с затратами. Основной причиной этой ситуации являются существующие пробелы в понимании фундаментальных связей между структурой блокатора и механизмом его воздействия на канал-мишень и между действием блокатора на канал и его эффектом в сложных физиологических системах.

В лаборатории разработана и применяется стратегия рационального поиска перспективных антагонистов глутамата, основанная на фундаментальном подходе к проблеме [12, 13]. Поиск комплексный и включает как непереносимое условие получение детального знания о молекулярном строении мишени, то есть структуре каналов – трёхмерной организации аминокислотных последовательностей полипептидных цепей, формирующих стенки канала, поскольку именно здесь находится место связывания каналоблокаторов. Это делает правомочной трактовку результатов исследования связи между строением синтезируемых блокаторов и их активностью. Как правило, требуется синтезировать гомологические серии новых соединений и применять адекватные методы их тестирования, которые предусматривают возможность напрямую исследовать взаимодействие вещества с рецептором. Необходимо точно оценивать не только сродство изучаемого каналоблокатора к определённому типу канала глутаматных рецепторов, но также кинетику и молекулярный механизм этого взаимодействия. Дело в том, что избирательность и эффективность нейропротекторного действия существенно зависят от времени, в течение которого канал остаётся заблокированным, от состояния возбудимости нейрона и т.п. Следующий этап – сопоставление результатов тестирования наиболее интересных соединений в опытах на нескольких моделях патологических состояний нервной системы экспериментальных животных, по сколь угодно ни одна модель не воспроизводит полностью заболевания человека.

Опыты, проведённые нами на рекомбинантных глутаматных рецепторах, экспрессированных в ооцитах *Xenopus laevis*, и на изолированных нейронах мозга крысы, выявили органические катионы, способные блокировать открытые каналы NMDA и AMPA-рецепторов [14]. Специально разработанные блокаторы были применены в качестве молекулярных зондов для выяснения сходства и различий в строении глутаматных каналов позвоночных и беспозвоночных животных. Создана библиотека, содержащая более 80 соединений, большинство из которых синтезированы В.Е. Гмиро (Институт экспериментальной медицины РАМН) в ходе совместной работы и исследованы впервые в нашей лаборатории. Анализ связи между строением и действием

Рис. 5. Блокада открытых каналов глутаматных ионотропных рецепторов

В ионном канале рецептора NMDA-типа (слева) участок связывания блокаторов локальный, этот канал эффективно блокируется компактными монокатионными соединениями; в канале AMPA-типа (справа) участок связывания образован двумя пространственно разнесёнными компонентами, поэтому канал блокируется только дикатионными соединениями определённой длины



блокаторов показал, что NMDA-каналы блокируются как моно-, так и дикатионными соединениями, в то время как AMPA-каналы можно эффективно блокировать только дикатионными соединениями определённой длины (рис. 5). В результате был создан новый класс веществ, способных блокировать ионные каналы подтипа AMPA-рецепторов, а главное, разработаны принципы дизайна молекул каналоблокаторов с предсказуемой активностью и избирательностью действия [12, 13].

На основе экспериментальных данных с помощью методов молекулярной механики были созданы модели каналов NMDA и AMPA-рецепторов [15]. При их построении использовались рентгеновские структуры калиевых каналов, поскольку предполагались черты принципиального сходства строения этих двух классов каналов. Модели способствовали существенному уточнению наших представлений о строении каналов глутаматных рецепторов, выявили особенности строения каналов NMDA и AMPA-подтипов и, соответственно, помогли сформулировать требования к структуре блокаторов. Это взаимозависимый процесс – дизайн и последующий синтез потенциального инструмента исследования или лекарства, исследователи здесь опираются на знание о структуре мишени. В свою очередь, результаты экспериментального исследования связи между строением и действием гомологических серий синтезированных соединений обогащают существующие представления о молекулярном строении мишени. Плодотворность такого подхода убедительно доказывается сопоставлением молекулярных моделей с недавно опубликованными результатами рентгеноструктурного анализа канала AMPA-рецептора. Как и следовало из нашей модели, принципиальная структура AMPA-канала оказалась существенно ближе к структуре калиевого канала (расположение ворот канала, взаимное положение каналобразующих сегментов), чем предполагали другие исследователи.

Проведены исследования механизмов действия блокаторов на каналы NMDA и AMPA-рецепторов. Изучались такие феномены, как зависимость блокады от уровня электрического потенциала на мембране, зависимость действия блокаторов от активации канала и взаимодействие блокаторов с воротным механизмом канала. Выявлены структурные детерминанты феномена “ловушки” молекулы блокатора в канале NMDA-рецептора. Показано, что молекулы блокаторов могут проникать через открытые AMPA-каналы в

цитоплазму, что блокаторы АМРА-каналов способны ускользать из “ловушки” путём проникновения в цитоплазму, когда канал находится в закрытом состоянии [17]. Это позволило уточнить положение ворот в структуре канала. Сделан вывод о том, что особенности молекулярных механизмов блокады в значительной степени определяют действие фармакологических препаратов в физиологических и патологических условиях.

Непосредственным продолжением поиска и детального изучения механизма действия каналоблокаторов стали исследования их способности предупреждать развитие патологического проявления повышенной активности глутаматергических систем в опытах на экспериментальных животных. При выборе использованных с этой целью веществ руководствовались результатами анализа их действия на рекомбинантные глутаматные рецепторы, то есть воспроизведённые методами молекулярной биологии, и на рецепторы в живых нативных нейронах, выделенных из мозга. Сопоставлялись эффективность и особенности профилактического действия веществ, различающихся спектром каналоблокирующего действия на типы и подтипы глутаматных рецепторов. Работа велась на нескольких моделях судорожного синдрома, вызываемого разными методами [18]: внутрижелудочковым введением в мозг мышей агонистов глутамата (NMDA или каината), однократным или хроническим введением коразола, действием никотина, пилокарпина, ареколины; на модели атаксии, вызываемой у крыс галоперидолом; в опытах на линейных крысах, генетически предрасположенных к развитию судорожного синдрома в ответ на звуковое воздействие; в опытах на мышцах, подвергаемых действию углового ускорения. В результате были выявлены ингибиторы NMDA-рецепторов, превосходящие мексаметин по эффективности и отсутствию проявлений побочного действия.

Не следует думать, что если мы дойдём до самой сути в понимании того, как нейроны с помощью синапсов общаются между собой, то перед нами сразу откроются все тайны работы мозга и очень быстрые пути к созданию новых эффективных лекарств. Это было бы преувеличением. Но для того чтобы успешно решать эти проблемы на разных уровнях и с помощью разных подходов, необходимо накапливать знания об элементарных кирпичиках и объединяющих механизмах, которые использует природа для создания компактного, чрезвычайно эффективного здания нервной системы, и находить новые молекулярные инструменты для таких исследований.

Литература

1. Никколс Дж.Г., Мартин А.Р., Валлас Б.Дж., Фукс П.А. От нейрона к мозгу. М.: Едиториал УРСС, 2003.
2. Sudhof T., Steven S. Synapses. L.: Johns Hopkins University Press, 2001.
3. Katz B., Miledi R. The measurement of synaptic delay, and the time course of acetylcholine release at the neuromuscular junction // Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 1965. V. 161. P. 483–495.
4. Bukharaeva E., Kim K., Moravec J. et al. Noradrenaline synchronizes evoked quantal release at frog neuromuscular junctions // Journ. Physiol. 1999. V. 517. P. 879–888.
5. Bukharaeva E., Samigullin D., Nikolsky E., Magazanik L. Modulation of the kinetics of evoked quantal release at mouse neuromuscular junctions by calcium and strontium // Journ. Neurochemistry. 2007. V. 100. P. 939–949.

6. *Nikolsky E., Samigullin D., Vyskocil F. et al.* Cholinergic regulation of the quantal release at frog neuro-muscular junction // *Journ. Physiol.* 2004. V. 560. P. 77–88.
7. *Petrov K.A., Kovyazina I.V., Zobov V.V. et al.* Different sensitivity of miniature endplate currents of the rat extensor digitorum longus, soleus and diaphragm muscles to a novel acetylcholinesterase inhibitor C-547 // *Physiol. Research.* 2006. V. 55. P. 585–589.
8. *Vyskočil F., Malomouzh A., Nikolsky E.* Non-Quantal Acetylcholine Release at the Neuromuscular Junction // *Physiol. Research.* 2009. V. 58. P. 763–784.
9. *Dingledine R., Borges K., Bowie D., Traynelis S.F.* The glutamate receptor ion channels // *Pharmacol. Rev.* 1999. V. 51. P. 7–61.
10. *Bowie D.* Ionotropic glutamate receptors and CNS disorders // *CNS Neurol. Disord. Drug Targets.* 2008. V. 7. P. 129–143.
11. *Lipton S.A.* Paradigm shift in neuroprotection by NMDA receptor blockade: memantine and beyond // *Nat. Rev. Drug Discov.* 2006. V. 5. P. 160–170.
12. *Magazanik L.G., Buldakova S.L., Samoilova M.V. et al.* Block of cloned and native AMPA/kainate receptor channels by adamantane derivatives // *Journ. Physiol.* 1997. V. 505. P. 655–663.
13. *Bolshakov K.V., Kim K.H., Potapjeva N.N. et al.* Design of antagonists for NMDA and AMPA receptors // *Neuropharmacology.* 2005. V. 49. P. 144–155.
14. *Магазаник Л.Г., Тихонов Д.Б., Тихонова Т.Б., Лукомская Н.Я.* Механизмы блокады каналов глутаматных рецепторов: значение для структурных и физиологических исследований // *Росс. физиол. журн.* 2006. V. 92. P. 27–38.
15. *Tikhonov D.B.* Ion channels of glutamate receptors: structural modeling // *Molecular Membrane Biology.* 2007. V. 24. P. 135–147.
16. *Sobolevsky A., Rosconi M.P., Gouaux E.* X-ray structure, symmetry and mechanism of an AMPA-subtype glutamate receptor // *Nature.* 2009. V. 462. P. 745–756.
17. *Tikhonova T.B., Barygin O.I., Gmiro V.E. et al.* Organic blockers escape from trapping in the AMPA receptor channels by leaking into the cytoplasm // *Neuropharmacology.* 2008. V. 54. P. 653–664.
18. *Лукомская Н.Я., Лаврентьева В.В., Старшинова Л.А. и др.* Участие ионотропных глутаматных рецепторов в возникновении ареколинового тремора у мышей // *Росс. физиол. журн.* 2007. V. 93. P. 275–282.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ РЕЦЕПТОРОВ НЕЙРОНОВ

*Член-корреспондент РАН Е.В. Гришин
и член-корреспондент РАН В.И. Цетлин*

По современным представлениям, в мозге человека может находиться до 100 млрд нейронов, в каждом из которых – от 1000 до 10 000 синапсов, образующих синаптические контакты с другими нервными клетками. В свою очередь, в любом синапсе в пре- или постсинаптической мембране локализованы различные мембранные рецепторы и ионные каналы – своеобразные “молекулярные реле”, играющие определяющую роль в передаче межклеточных сигналов и в конечном счёте в функционировании всего мозга. Эти рецепторы и каналы часто обладают врождёнными или приобретёнными дефектами, что может быть причиной различных заболеваний и патологий. Среди рецепторов, различающихся структурной организацией и механизмами функционирования, существуют два основных, наиболее распространённых типа – метаботропный и ионотропный. К метаботропным относятся так называемые G-белок-связанные рецепторы – GPCR (G-protein-coupled

receptors), полипептидная цепь которых 7 раз пронизывает плазматическую мембрану. Связывание специфического агониста (классический медиатор, нейропептид, пахучее вещество и т.д.) изменяет характер взаимодействия GPCR с G-белком, и таким образом сигнал передаётся через клеточную мембрану и активирует многочисленные внутриклеточные процессы, в том числе и связанные с открыванием или закрыванием ионных каналов, образуемых другими белками. Ионотропный тип рецепторов представлен разнообразными лиганд- или потенциал управляемыми ионными каналами, построенными, как правило, из нескольких белковых субъединиц, то есть ионные каналы являются составной частью таких рецепторов.

Наиболее многочисленно семейство GPCR. В начале нынешнего века была установлена кристаллическая структура родопсина (зрительного пигмента), которая служила моделью для всех остальных фармакологически важных рецепторов этого семейства. За последние несколько лет определено пространственное строение нескольких адренергических рецепторов, в том числе и в комплексе с антагонистами, что открывает большие возможности для конструирования лекарств нового поколения.

В данном сообщении подробно рассмотрены ионотропные рецепторы, поскольку именно с ними в основном велись работы в Институте биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН. В настоящее время известно большое число ионотропных рецепторов, для некоторых из них с помощью рентгеноструктурного анализа установлена пространственная структура. Так, например, Р. Мак-Киннону и П. Эргу присуждена Нобелевская премия 2003 г. за выяснение пространственной структуры ионных каналов и аквапоринов. Подобные исследования позволяют приблизиться к пониманию молекулярных механизмов функционирования рецепторных систем и создают общее представление о пространственной организации их различных представителей. В то же время необходимо отметить, что точная локализация, установление субъединичного состава и выполняемой функции для конкретного рецептора в том или ином типе нейрональных клеток – сегодня ещё не решённая задача.

Одна из актуальных проблем современной нейробиологии – направленная регуляция работы клеточных рецепторов и ионных каналов, выяснение их молекулярной организации и связи между пространственной структурой и функцией. Связь структурного разнообразия рецепторов мозга и выполняемых в организме функций можно проиллюстрировать для никотиновых ацетилхолиновых рецепторов, принадлежащих к семейству лиганд-управляемых ионных каналов. Различные типы этих рецепторов имеются в мышцах, на клетках иммунной системы, в тканях, мозге и участвуют в таких разнообразных процессах, как мышечное сокращение, регуляция воспаления, умственная деятельность. Пространственная структура никотинового рецептора мозга пока не установлена, но полученная методом электронной микроскопии структура рецептора из электрического ската *Torpedo*, выделенного в индивидуальном виде более 30 лет назад с помощью токсинов змей, является адекватной моделью строения всех никотиновых рецепторов [1].

Рецептор состоит из пяти субъединиц, образующих ионный канал внутри клеточной мембраны; над мембраной находится область рецептора, с которой связываются соединения, открывающие канал, – ацетилхолин или нико-

тин (так называемые агонисты), а также соединения, которые, связавшись, не позволяют затем каналу открыться, например токсины змей (антагонисты) [2].

В 2001 г. голландскими исследователями был открыт водорастворимый ацетилхолин-связывающий белок и установлена его кристаллическая структура [3]. Пять одинаковых молекул белка объединяются в пентамер – прекрасную модель внеклеточной области (домена) никотиновых рецепторов. С использованием этой структуры удалось добиться разрешения в 4 Å для никотинового рецептора *Torpedo* [4].

Мышечные рецепторы по субъединичному составу подобны рецептору *Torpedo*, нейрональные включают в себя 9 вариантов α -субъединицы ($\alpha 2$ – $\alpha 10$) и 3 варианта β -субъединицы ($\beta 2$ – $\beta 4$). Рецепторы могут состоять как из одинаковых α -субъединиц (например, из пяти $\alpha 7$ -субъединиц), так и из различных комбинаций α - и β -субъединиц (рис. 1).

Участки связывания нейромедиаторов и других лигандов находятся в областях контакта субъединиц. Разнообразие комбинаций субъединиц служит причиной различий и в свойствах рецепторов. Например, никотин активирует $\alpha 4\beta 2$ -рецептор при концентрациях, в 300 раз более низких, чем нужны для активации $\alpha 7$ -рецептора, который имеет высокую проводимость для ионов Ca^{2+} и активно участвует в высвобождении в синапсе всевозможных медиаторов. Среди функций, в большей или меньшей степени характерных для того или иного подтипа никотинового рецептора, следует упомянуть регуляцию дофаминергической передачи никотиновыми рецепторами, имеющими в своём составе $\alpha 6$ -субъединицу. Субъединицы нейрональных никотиновых рецепторов найдены и в других, “ненейрональных” тканях. Так, в клетках иммунной системы они играют благотворную роль, регулируя воспалительный процесс, тогда как при раке лёгких именно эти рецепторы способствуют росту раковых клеток.

Нарушения функционирования никотиновых рецепторов связаны с различными заболеваниями. Причиной мышечной дистрофии могут быть аутоантитела против мышечных никотиновых рецепторов или мутации в самих рецепторах. При ряде психических и нейродегенеративных заболеваний нарушается содержание никотиновых рецепторов (например, убыль $\alpha 7$ -рецепторов при шизофрении). При болезнях Альцгеймера и Паркинсона холинергическая система страдает одной из первых, что напрямую связано с утратой когнитивных функций. Главную роль в никотиновой зависимости играют именно никотиновые ацетилхолиновые рецепторы, в частности $\alpha 4\beta 2$ -рецептор, имеющий наиболее высокое сродство к никотину. Поэтому информация о структурной организации никотиновых рецепторов, особенно о той области, где связываются никотин и другие лиганды, совершенно необходима для создания новых лекарств.

Как уже отмечалось, нейротоксины из ядов змей ранее помогли выделить рецептор *Torpedo*. Своей роли компоненты ядов не утратили и сегодня, в том числе в исследованиях никотиновых рецепторов мозга. Так называемые “короткие” нейротоксины (60–62 аминокислотных остатка, 4 дисульфидные связи) блокируют только мышечные рецепторы, тогда как α -бунгаротоксин, представитель “длинных” нейротоксинов (75 аминокислотных остатков, 5 дисульфидов) блокирует мышечные и $\alpha 7$ -нейрональные рецепторы [2]. Недавно

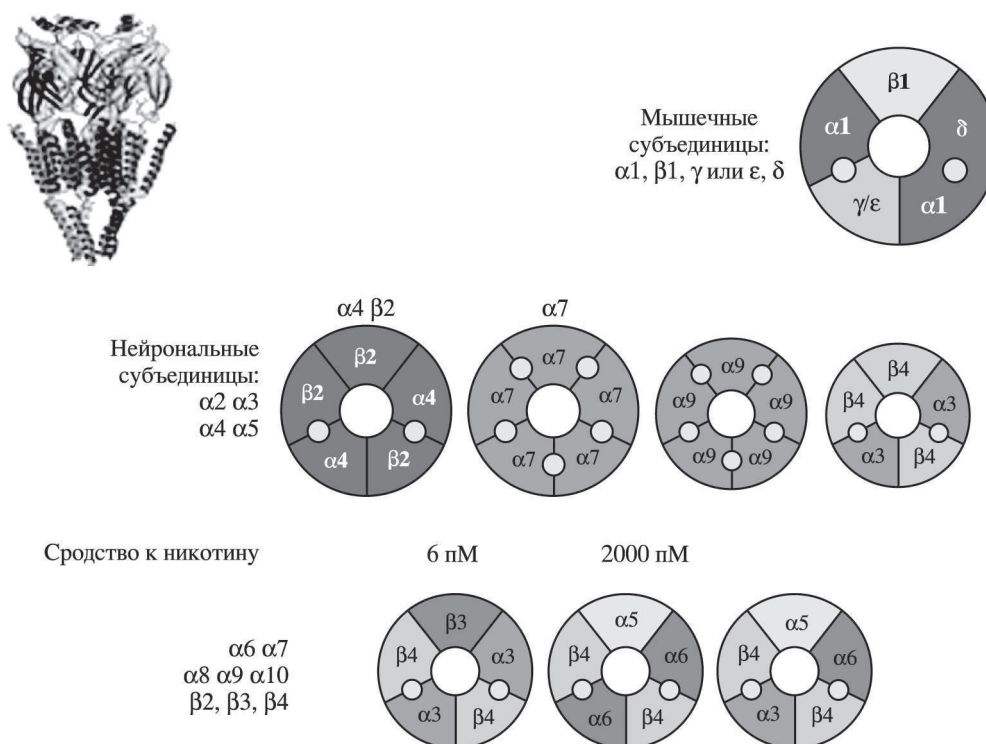


Рис. 1. Структурное разнообразие никотиновых ацетилхолиновых рецепторов

В левом верхнем углу представлена пространственная структура никотинового ацетилхолинового рецептора *Torpedo marmorata* [5] (PDB 2BG9). Верхняя часть этой структуры (преимущественно иммуноглобулинового типа) соответствует внеклеточному лиганд-связывающему домену, средняя состоит из трансмембранных α -спиралей, а в нижней показаны спиральные фрагменты внутриклеточной части. Окружности в центральной части схемы отвечают условному виду сверху для различных подтипов рецепторов; окружности меньшего диаметра в областях контакта соседних субъединиц обозначают центры связывания агонистов и конкурентных антагонистов

в нашем институте был обнаружен новый тип токсинов в яде кобры: димер α -кобраторксина, скреплённый межмолекулярными дисульфидными связями. Этот белок не только блокирует $\alpha 7$ -рецептор (подобно α -кобраторксину), он приобрёл способность блокировать $\alpha 3\beta 2$ -рецептор [5].

Меченые производные белковых токсинов позволяют идентифицировать фармакологически различающиеся подтипы рецепторов в тканях и сравнивать их уровни в норме и при патологиях. Так, с помощью флуоресцентного производного α -бунгаротоксина с большой степенью достоверности было доказано присутствие нейрональных $\alpha 7$ никотиновых рецепторов в спинальном ганглии мыши, при этом в качестве контроля использовались мыши, у которых нокаутирован ген $\alpha 7$ -рецептора [6].

Очень широкие возможности для исследования нейрональных никотиновых рецепторов открывают так называемые α -конотоксины – пептидные нейротоксины из ядовитых морских моллюсков *Conus*. Некоторые из них селективно блокируют мышечные никотиновые рецепторы, другие с большей

или меньшей степенью избирательности взаимодействуют с каким-либо под-типом нейрональных рецепторов [2].

С целью понять механизм узнавания α -конотоксинов различными никотиновыми рецепторами в совместной работе с голландскими кристаллографами была установлена кристаллическая структура комплекса α -конотоксина с ацетилхолин-связывающим белком. Жёсткая молекула конотоксина глубоко проникает в этот белок, располагаясь в области контакта субъединиц [7]. В каждый из пяти участков связывания в этом белке входят несколько функционально важных ароматических аминокислотных остатков, в том числе находящихся и на петле С, играющей важную роль в связывании токсинов и других соединений (рис. 2).

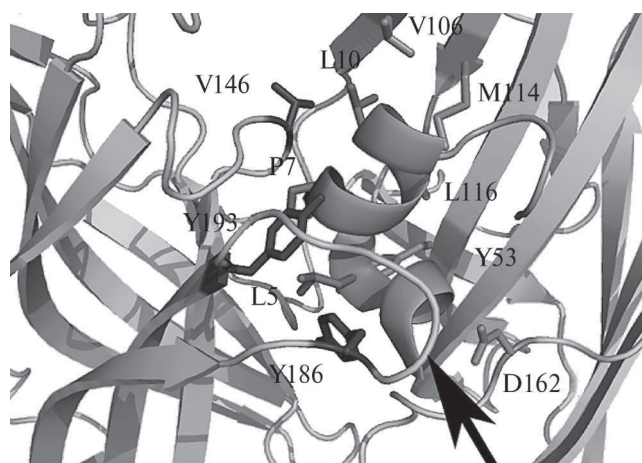
Сейчас известен ряд кристаллических структур ацетилхолин-связывающих белков в комплексах как с агонистами (например, никотин), так и с антагонистами (α -конотоксины). В свободном белке петля С имеет значительную подвижность, однако при связывании агониста она его охватывает и фиксируется ближе к центральной оси молекулы. Напротив, связывание α -конотоксинов или других антагонистов фиксирует эту петлю в сдвинутом от оси молекулы состоянии и не позволяет реализоваться тем структурным изменениям, которые при взаимодействии агонистов с истинными рецепторами привели бы к открыванию ионного канала и последующему физиологическому ответу.

Кристаллические структуры комплексов ацетилхолин-связывающих белков с агонистами и антагонистами используются в настоящее время для построения моделей различных типов никотиновых рецепторов [8]. Алгоритмы докинга и молекулярной динамики позволяют проводить конструирование и синтез соединений с более высокой активностью и специфичностью.

Весьма своеобразным действием на ионотропные рецепторные системы обладает целый ряд веществ природного происхождения, и прежде все го компонентов природных ядов, некоторые из них использовались при создании новых медицинских препаратов. Уникальным источником функциональных молекул служат природные яды, продуцируемые уже упоминавшимися змеями, морскими моллюсками, а также пауками, скорпионами и др. (рис. 3).

Рис. 2. Кристаллическая структура [7] лиганд-связывающего участка ацетилхолин-связывающего белка *A. californica* в комплексе с α -конотоксином PhIA [L10, K14]

Показана одна из пяти связанных с белком молекул α -конотоксина (особенно хорошо виден её α -спиральный фрагмент), петля С (указана стрелкой), а также некоторые из остатков белка, принимающие участие в связывании α -конотоксина



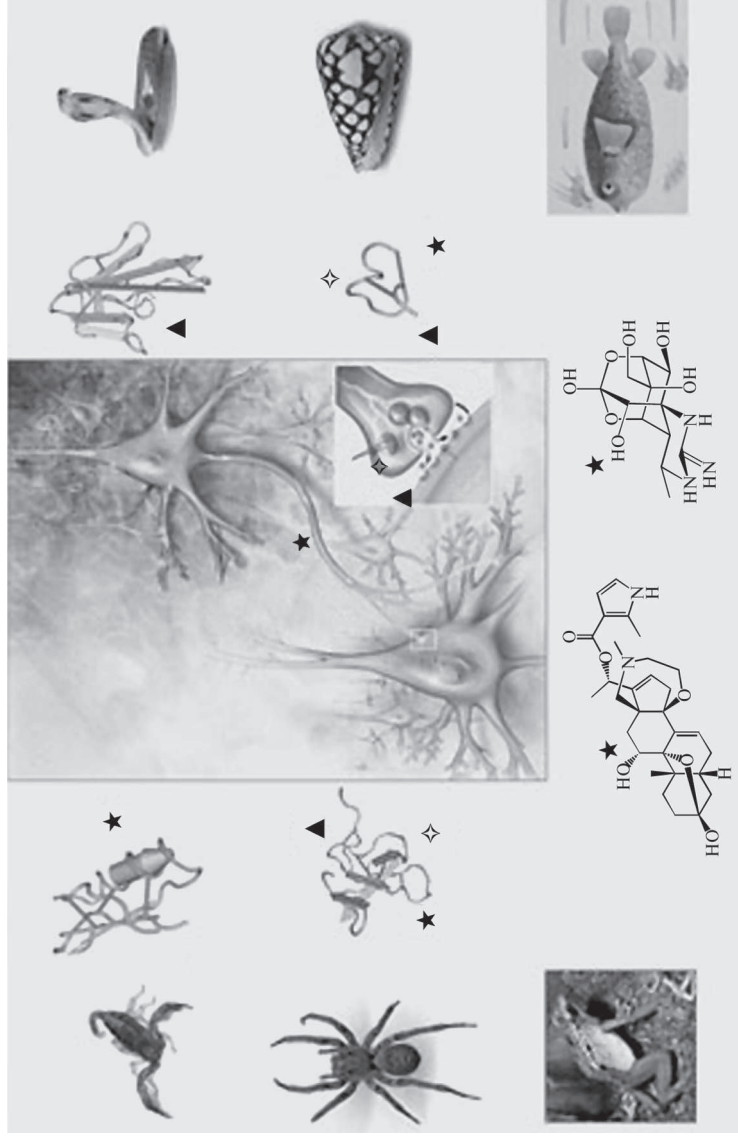


Рис. 3. Нервная система – мишень действия компонентов природных ядов

Представлены полипептидные молекулы яда скорпиона, влияющие на функцию Na^+ -канала аксона; полипептидные молекулы яда пауков, действующие на рецепторы и ионные каналы аксональной, пост- и пресинаптической мембраны; батрахотоксин из лягушки, модулирующий функциональную активность Na^+ -каналов аксона; тетродотоксин из рыбы Фугу, блокирующий Na^+ каналы аксона; пептидные молекулы яда морской улитки конус, действующие на рецепторы и ионные каналы аксональной, пост- и пресинаптической мембраны; белковые молекулы яда змей, обладающие действием на постсинаптические рецепторы; значками указаны места действия токсинов

Эти яды обычно содержат разнообразные полипептидные молекулы, и их можно рассматривать как своего рода комбинаторные библиотеки полипептидов [9, 10], обладающих выраженной биологической активностью (рис. 4). Важным обстоятельством является тот факт, что некоторые полипептидные компоненты яда не оказывают токсического действия, но селективно модулируют функциональную активность отдельных рецепторов или ионных каналов, проявляя тем самым терапевтический эффект. Предполагается, что в природных ядах с высокой степенью вероятности можно обнаружить компоненты, специфичные практически для любого типа нейрональных мембранных рецепторов, что открывает широкие перспективы для поиска и создания новых медицинских препаратов. Следует отметить, что для многих пептидных и белковых компонентов ядов характерна, как это ни покажется странным, анальгетическая (антиболевая) активность.

Боль (ноцицепция) – важнейшая физиологическая функция организма, сигнализирующая о его повреждениях и возможной угрозе жизни, что заставляет людей обращаться за врачебной помощью. Патологическая боль, вызывающая страдания, резко снижает качество жизни человека, его работоспособность и т.д. Около 20% взрослого населения развитых стран страдает от хронической боли. В качестве обезболивающих препаратов традиционно используются морфин (и другие опиоиды), аспирин (а также другие нестероидные противовоспалительные средства) и разнообразные вещества неспецифического действия (антиконвульсанты, антидепрессанты). Тем не менее в некоторых болевых состояниях, например при различных нейропатиях, организм больного практически нечувствителен к этим агентам. Выявлено, что все вышеперечисленные вещества в ряде случаев вызывают нежелательные побочные эффекты, что сильно ограничивает возможность их применения. Таким образом, весьма актуальным представляется получение принципиально новых обезболивающих средств, действующих с минимальными побочными эффектами. Важной задачей для раскрытия молекулярных механизмов восприятия боли является поиск высокоспецифичных модуляторов болевых механизмов и использование этих молекул в качестве тонких инструментов исследования. Биомолекулы, способные направленно ингибировать функцию передачи болевого сигнала, могут быть использованы для создания эффективных обезболивающих средств.

К настоящему времени накоплен большой экспериментальный материал, показывающий вклад ряда рецепторных систем в процессы генерации и восприятия болевых стимулов. Среди рецепторов и ионных каналов, участвующих в процессах восприятия боли, исследователи выделяют потенциал-чувствительные Na^+ -каналы ($\text{Na}_v 1.3$, $\text{Na}_v 1.7$, $\text{Na}_v 1.8$ и $\text{Na}_v 1.9$), K^+ -каналы с двумя порообразующими сегментами (TREK , TRAAC , TWIK и TASK), потенциал-чувствительные Ca^{2+} -каналы (N, P и Q-типа), амилорид-чувствительные протон-активируемые Na^+ -каналы (ASIC1 , ASIC2 и ASIC3), каннабиноидные рецепторы (CB1 и CB2), ваниллоидный рецептор (TRPV1), пуриnergические рецепторы (P2X и P2Y), ионотропные глутаматные (NMDA , AMPA и каинатные) и никотиновые ацетилхолиновые ($\alpha 4$) рецепторы, рецепторы нейротензина, рецепторы вещества P (нейрокининовые рецепторы), а также рецепторы, активируемые циклическими нуклеотидами. Кроме того, важная роль в восприятии боли по-прежнему отводится хорошо известным

Важную роль играет ваниллоидный рецептор (TRPV1, VR1) – неселективный ионный канал и своеобразный полимодальный детектор многих болевых стимулов, который активируется некоторыми химическими агентами (например, капсаицином из красного перца), а также высокой температурой (ваниллоидный рецептор термочувствительный). Экспрессия TRPV1 – фармакологический признак крупной популяции сенсорных нейронов-ноцицепторов, иннервирующих как периферические, так и висцеральные органы. Опыты с нокаутными мышами, дефектными по гену ваниллоидного рецептора, убедительно доказывают его роль в восприятии боли. По всей видимости, ваниллоидный рецептор – ключевой компонент болевой чувствительности при таких заболеваниях, как астма, интерстициальный цистит, артрит.

Потенциал-чувствительные Ca^{2+} -каналы играют важнейшую взаимосвязующую роль электрической активности нейронов с множеством клеточных процессов, включая экспрессию генов, клеточную дифференцировку и высвобождение медиатора из синаптических везикул. Растёт число свидетельств, указывающих на участие Ca^{2+} -каналов в процессах передачи болевых импульсов. Эти каналы экспрессируются в нейронах, участвующих в проведении и обработке болевых сигналов и, скорее всего, играют ведущую роль в таких состояниях, как мигрень, атаксия, некоторые формы эпилепсии.

Успех в создании новых, высокоспецифичных анальгетиков зависит от результатов поиска веществ, селективно модулирующих функциональную активность рецепторов, отвечающих за болевую чувствительность. Полипептидные компоненты ядов, селективно взаимодействующие с этими рецепторами, могут служить идеальной молекулярной основой для выяснения механизма ноцицепции и получения новых лекарственных препаратов. Примером эффективности подобной стратегии является тот факт, что в США с 31 декабря 2004 г. разрешено применение нового обезболивающего препарата – синтетического аналога ω -конотоксина из морской улитки *Conus magus*.

В Институте биоорганической химии РАН проводится поиск соединений, избирательно действующих на рецепторные системы болевой чувствительности. Для идентификации полипептидных компонентов ядов, активных по отношению к рецепторам боли, осуществляется электрофизиологический скрининг ядов членистоногих на способность изменять амплитуду токов, опосредованных потенциал-чувствительными Na^+ -каналами ($\text{Na}_v1.8$ и $\text{Na}_v1.9$), модулировать активность ваниллоидного рецептора (TRPV1), протон-активируемых Na^+ -каналов (ASIC3), пуриnergических рецепторов (P2X2 и P2X3) и Ca^{2+} -каналов P-типа. Биологические испытания полипептидов проводятся электрофизиологическими методами на экспрессированных рецепторах или ионных каналах в системе ооцитов лягушки *Xenopus laevis* (рис. 5) и/или на изолированных нейронах (пуриnergические токи в пирамидальных нейронах гиппокампа крыс).

Из экстракта нематоцитов тропической актинии *Heteractis crispa* выделен и охарактеризован пептидный ингибитор функциональной активности ваниллоидного рецептора TRPV1, установлена его структура, получен рекомбинантный аналог, обладающий биологической активностью, идентичной активности природного белка. В биологических тестах на лабораторных животных найденный полипептид из актинии обладал выраженным аналь-

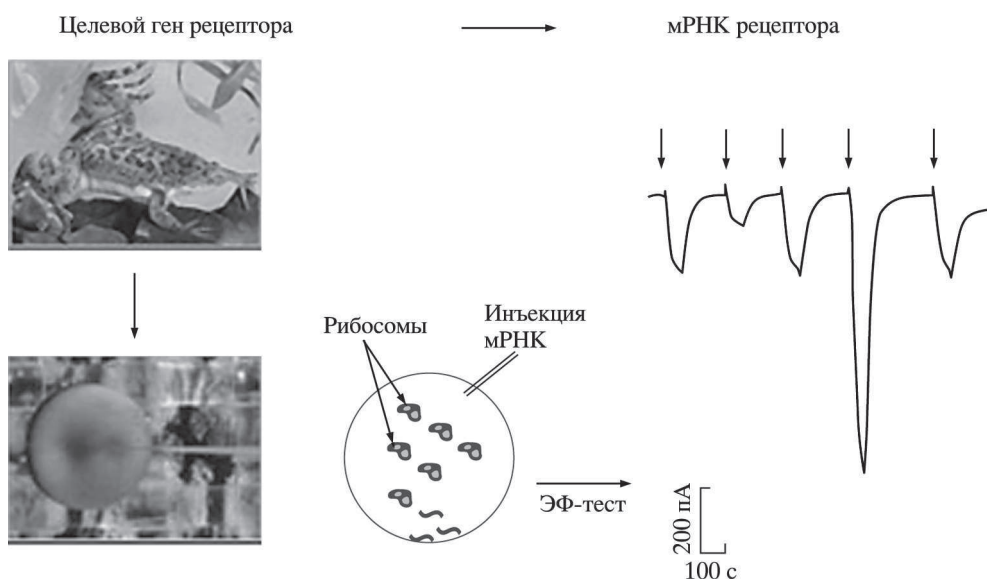


Рис. 5. Принципиальная схема тест-системы на основе ооцитов лягушки

Выбирается ген определённого рецептора или ионного канала человека, который превращается в соответствующую мРНК. Порция мРНК инъецируется в ооцит шпорцевой лягушки *Xenopus laevis*, который способен синтезировать и встраивать в свою мембрану чужеродный рецептор или ионный канал. Затем с помощью электрофизиологических методов проводится проверка активности образовавшихся рецепторов и тестирование на них действия компонентов природных ядов. Вертикальными стрелками показаны генерация токов, индуцированных аппликацией агониста ваниллоидного (TRVI) рецептора – капсаицина (Сар) и изменение амплитуды токов под действием фракций яда актинии [11]

гетическим действием [11, 12]. Выделенный компонент яда актинии – это первый в мире полипептидный модулятор рецептора TRPV1, угнетающий его активность. По предварительным результатам, он проявляет высокую анальгетическую активность *in vivo* в дозах от 0.025–0.1 мг/кг в целом ряде биологических тестов. На данный момент в мире нет антагонистов TRPV1, обладающих сопоставимой анальгетической активностью в таких дозах. (Для сравнения: “золотой стандарт” терапии боли – морфин проявляет анальгетическую активность в этих тестах в дозах 0.3–2 мг/кг).

В яде паука *Geolycosa sp.* идентифицирован полипептид РТ-1, модулирующий активность Р2Х-рецепторов. Осуществлена функциональная экспрессия гена РТ-1 в бактериальной системе. Показано, что при наномолярных концентрациях РТ-1 влияет на десенситизированные Р2Х3-рецепторы нейронов ганглиев дорсальных корешков спинного мозга, значительно уменьшая при этом активирующий эффект природного агониста АТФ. В экспериментах на животных обнаружено, что РТ-1 вызывает обезболивающие эффекты в дозах менее 0.02 мг/кг. Таким образом, найденный РТ-1 является первым природным полипептидным ингибитором пуринергических рецепторов Р2Х3 и может служить основой для разработки новых болеутоляющих лекарственных препаратов.

Препараты на основе указанных пептидов, надеемся, окажутся эффективными в терапии болей различной этиологии. Кроме того, ингибиторы пептидной природы могут иметь большое значение для разработки новых

анальгетических средств. Предполагается, что по сравнению с низкомолекулярными аналогами их терапевтическое воздействие более специфичное, они вызывают меньше системных побочных эффектов, на их основе открывается возможность оптимизации структуры и, следовательно, улучшения фармакологических свойств молекулы путём мутагенеза.

Литература

1. Sine S.M., Engel A.G. Recent advances in Cys-loop receptor structure and function // *Nature*. 2006. V. 440. P. 448–455.
2. Tsetlin V., Utkin Y., Kasheverov I. Polypeptide and peptide toxins, magnifying lenses for binding sites in nicotinic acetylcholine receptors // *Biochem. Pharmacol.* 2009. V. 78. P. 720–731.
3. Brejc K., van Dijk W.J., Klassen et al. Crystal structure of an ACh-binding protein reveals the ligand-binding domain of nicotinic receptors // *Nature*. 2001. V. 411. P. 269–276.
4. Osipov A.V., Kasheverov I.E., Makarova Y.V. et al. Naturally occurring disulfide-bound dimers of three-fingered toxins: a paradigm for biological activity diversification // *Journ. Biol. Chem.* 2008. V. 283. P. 14571–14580.
5. Unwin N. Refined structure of the nicotinic acetylcholine receptor at 4 Å resolution // *Journ. Mol. Biol.* 2005. V. 346. P. 967–989.
6. Shelukhina I.V., Kryukova E.V., Lips K.S. et al. Presence of alpha7 nicotinic acetylcholine receptors on dorsal root ganglion neurons proved using knockout mice and selective alpha-neurotoxins in histochemistry // *Journ. Neurochem.* 2009. V. 109. P. 1087–1095.
7. Celie P.H., Kasheverov I.E., Mordvintsev D.Y. et al. Crystal structure of nicotinic acetylcholine receptor homolog AChBP in complex with an alpha-conotoxin PnIA variant // *Nat. Struct. Mol. Biol.* 2005. V. 12. P. 582–588.
8. Кашеверов И.Е., Цетлин В.И. Конотоксины в исследовании структуры и функции никотиновых рецепторов // *Успехи биол. химии*. 2009. Т. 49. С. 275–318.
9. Kozlov S., Malyavka A., McCutchen B. et al. A novel strategy for the identification of toxinlike structures in spider venom // *Proteins*. 2005. V. 59. P. 131–140.
10. Василевский А.А., Козлов С.А., Гришин Е.В. Молекулярное разнообразие яда пауков // *Успехи биол. химии*. 2009. Т. 49. С. 211–274.
11. Andreev Ya.A., Kozlov S.A., Koshelev S.G. et al. Analgesic compound from sea anemone *heteractis crispa* is the first polypeptide inhibitor of vanilloid receptor 1 (TRPV1) // *Journ. Biol. Chem.* 2008. V. 283. P. 23914–23921.
12. Андреев Я.А., Козлов С.А., Козловская Э.П., Гришин Е.В. Анальгетическое действие пептидного ингибитора TRPV1-рецептора в моделях тепловой стимуляции боли // *Доклады АН*. 2009. Т. 424. № 5. С. 688–691.

ИССЛЕДОВАНИЯ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Член-корреспондент РАН
Б.М. Величковский**

В последние 10–15 лет в мировой науке наряду с нано-, био- и информационными технологиями в качестве равнозначного выделился комплекс когнитивных исследований, связанных в первую очередь с изучением познавательных процессов у человека. В результате в начале XXI в. стал радикально меняться облик многих разделов таких дисциплин, как психология, лингвистика, физиология, философия, экономика, эргономика и антропология.

Появление междисциплинарной *когнитивной науки* (cognitive science) сопровождалось возникновением целого ряда технологических приложений. Взаимосвязи фундаментальных исследований в данной области с новыми технологиями и посвящено моё выступление.

Прилагательное “когнитивный” происходит от лат. *cogniscere* – знать, узнавать, понимать. В отличие от времён Декарта, который ввёл этот термин в научный оборот (*cogito ergo sum*; *res ex tensa* vs. *res cogitans*), “когнитивными” сейчас называют не только процессы осознанного понимания и речевого мышления, но и такие базовые биологические процессы, как, например, ориентация в пространстве, предвосхищение событий и поведенческое реагирование на них. Во всех этих случаях существенным является *внутреннее представление* (“образ”, “ментальная модель”, “репрезентация”) ситуации и использование этого представления в целях решения задачи. Классическими темами и одновременно центральными проблемами когнитивных исследований являются восприятие собственного тела, восприятие внешнего мира, память и обучение (во всех формах, имеющих различные мозговые механизмы и динамику развития), речь и мышление, мышление и интеллект, высшие формы сознания, эмоции и мотивация, построение движений. Каждая из этих тем сегодня – своеобразная “стройплощадка”, на которой усилиями междисциплинарных научных коллективов происходят компьютерное моделирование и углублённый анализ нейрофизиологических механизмов, всё чаще включающий их генетические и молекулярные компоненты.

Если рассмотреть публикации ведущих научных журналов с точки зрения плотности перекрёстных ссылок, то возникает двумерный ландшафт научного знания. На рисунке 1 отчётливо выступают четыре междисциплинарных кластера: Нано, Био, Инфо и Когно. В известных отечественных и зарубежных прогнозах развития высокотехнологического сектора их обозначают как НБИК или называют конвергентными технологиями (см., например, “NBIC-отчёт” Национального научного фонда и министерства торговли США – *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*). “Конвергенция технологий” находит своё выражение в усиливающейся взаимосвязи этих четырёх направлений и их совместном влиянии на общество. Так, бурный рост современных когнитивных исследований был подготовлен двумя научно-техническими революциями середины и последней трети XX в.: появление компьютерных технологий дало средства моделирования, проведения экспериментов, обработки и представления данных, а развитие физики низких температур позволило создать неинвазивные средства трёхмерной визуализации мозговых процессов и состояний.

Основой конвергенции технологий являются материальное единство мира на наноуровне и его интеграция на более высоких уровнях организации. В процессе конвергенции технологий когнитивные исследования выполняют системную роль проверки соответствия разрабатываемых продуктов и услуг психофизиологическим характеристикам человека и выявленным на их основе эргономическим нормативам. Развитие инженерных приложений в области человеческого фактора проходило сначала под знаком базовых физических и биомеханических параметров чело века. С конца прошлого века на первый план выступил учёт постоянно меняющихся когнитивных харак-

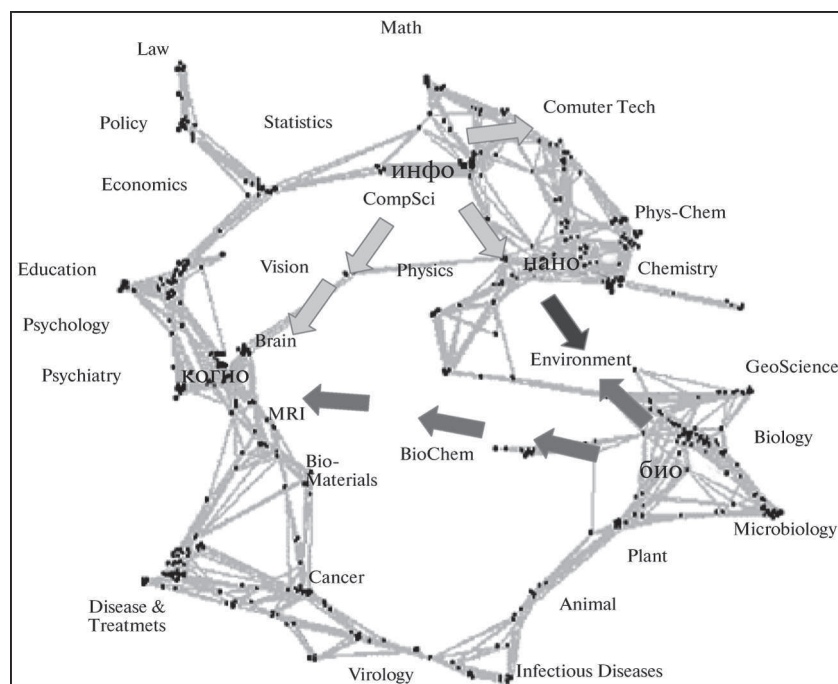


Рис. 1. Карта современного научного знания с четырьмя кластерами “мегатехнологий”

теристик человека, в связи с чем возникла *когнитивная эргономика*. В частности, нами ещё в начале 1990-х годов был выдвинут принцип динамической ориентации на мгновенное состояние внимания и намерения пользователей технических систем, а не просто на их инвариантные антропологические характеристики как представителей вида *Homo sapiens*.

Центральное понятие современного этапа развития – *когнитивные технологии*, под которыми понимаются инструменты, материалы и процедуры, улучшающие оценку человеком актуальной ситуации и результативность его деятельности. Хотя когнитивные технологии стали развиваться с определённой задержкой по отношению к инфо-, био- и нанотехнологиям, объём обеспечиваемого ими рынка инновационных продуктов и услуг уже измеряется в миллиардах долларов. Они возникли первоначально как технологии интерфейсов между человеком и вычислительными системами. Примером служат графические интерфейсы пользователя, по сей день применяемые такими фирмами, как Apple и Microsoft. В основе этой технологии лежат исследования зрительной долговременной памяти, в том числе исследования, проводившиеся под нашим руководством в конце 1970-х годов в МГУ им. М.В. Ломоносова. Эти работы выявили практическую неограниченность объёма зрительной памятиузнавания по сравнению с памятью на абстрактные команды языков программирования. На использовании средств компьютерной графики и знании закономерностей восприятия основана технология виртуальной реальности, широко применяющаяся в тренажёрах, компьютерных играх, а также при создании прототипов промышленных изделий.

Достоинства и недостатки первого поколения когнитивных технологий целиком определяются тем, в какой мере они учитывают особенности когнитивных процессов у человека. Очевидно, что, затрагивая относительно низкий слой когнитивной архитектуры, связанный с сенсорно-перцептивными процессами, они ещё пока недостаточно учитывают полимодальность восприятия и его зависимость от факторов внимания, то есть от актуальной направленности деятельности человека. Поэтому сегодня центр тяжести исследований перемещается к детальной “инвентаризации” всего спектра когнитивных функций. Складывается впечатление, что любой хорошо установленный за последние 150 лет развития экспериментальной психологии факт имеет практическое значение, хотя мы часто ещё не понимаем, какое именно. Всё большую роль приобретает также анализ текущей мозговой активности при решении тех или иных задач, в том числе и при выполнении практической деятельности на рабочем месте. Исторически основой для формирующейся таким образом *нейроэргономики* служат работы нейропсихологов, выявивших специализацию различных анатомических областей и множественную представленность классических когнитивных функций на различных уровнях эволюционной организации мозга.

К числу примеров второго поколения когнитивных технологий, возникающих на стыке с инфо-, био- и нанотехнологиями, относятся:

- интерфейсы, чувствительные к вниманию пользователя (Инфо-Когно);
- интермодальные интерфейсы на базе новых наноматериалов (Нано-Инфо-Когно);
- методы экспликации сознания и диагностики эмоций (Био-Инфо-Когно);
- методы распознавания жестов (Инфо-Когно);
- антропоморфные агенты/аватары (Инфо-Когно);
- методы когнитивной геномики и когнотропные субстанции (Био-Нано-Когно);
- нейромаркетинг и нейроэкономика (Био-Когно);
- методы молекулярного “ремонта” памяти человека (Био-Нано-Когно).

Современные подходы открывают возможности для подлинно адаптивного взаимодействия между человеком и техническими устройствами. Например, обработка изображения лица позволяет практически в режиме реального времени (с частотой до 2000 раз в секунду и выше) фиксировать движения глаз человека, отражающие уровень и направленность внимания, и определять его эмоциональное состояние по мимике лица. В 1990-е годы нами был впервые предложен метод обработки изображения с точки зрения пространственного распределения зрительных фиксаций (рис. 2). Данный метод использует тот факт, что в каждый момент времени лишь очень узкая фовеальная область диаметром около 2 угловых градусов – она аппроксимируется соответствующим гауссовским распределением – может быть отчётливо воспринята наблюдателем. Отмечу, что размеры этой области примерно соответствуют угловой величине ногтя большого пальца вытянутой руки. Таким образом, исходное для нашего сознания впечатление одновременного (и отчётливого) восприятия заполненного светом и цветом предметно структурированного окружения представляет собой результат интеграции зна-

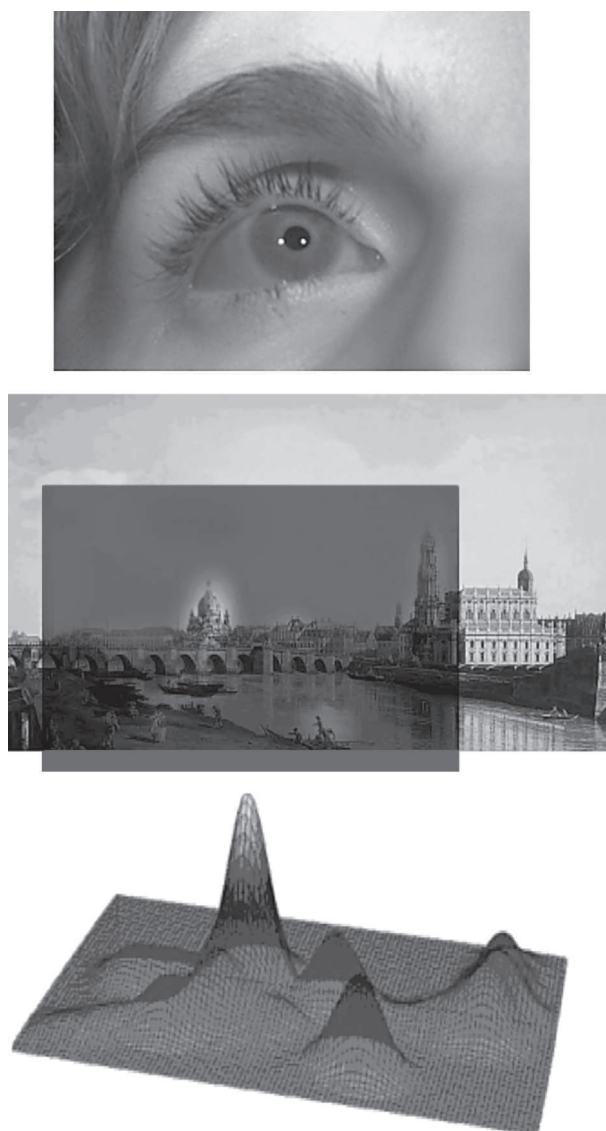


Рис. 2. Человеческий глаз в инфракрасной подсветке систем видеослежения (вверху), иллюстрация метода ландшафта фиксаций на примере картины Каналетто “Вид Дрездена” (в центре) и эмпирически измеренный и вычисленный ландшафт фиксаций (внизу)
Визуализация восприятия наложена на изображение картины Каналетто

ния о типичных особенностях среды нашей жизнедеятельности с данными, получаемыми в результате развёрнутой во времени глазодвигательной активности. Нам кажется, что мы видим значительно больше, чем воспринимаем в действительности.

Наряду с техническим совершенствованием систем видеослежения и обработки изображений, важнейшее значение имеют классические данные нейropsychологии о существовании двух основных групп кортикальных

механизмов зрительного восприятия¹. Первая из них локализована преимущественно в теменных отделах коры (“дорзальный поток”). Она обеспечивает глобальную пространственную локализацию объектов и осуществление направленных к ним движений. Вторая система реализует процессы идентификации объектов и их осознанного, детального (функция “фокального внимания”) обследования. Эта, филогенетически более новая, система восприятия преимущественно связана с различными отделами височных долей (так называемый вентральный поток переработки зрительной и другой экстероцептивной информации). Исследования, проведенные под нашим руководством в рамках объединившего восемь европейских научных центров проекта PERCEPT (Perceptual Consciousness: Explication and Testing), показали, что динамический баланс активации этих двух систем восприятия в значительной степени определяет картину микроповедения глаз в режиме обследования естественного окружения.

Для демонстрации селективного влияния различных мозговых систем на отдельные зрительные фиксации и саккадические движения в процессе свободного рассматривания сложных изображений и сцен потребовалась значительная модификация существующих методов визуализации работы мозга. Прежде всего серьезные ограничения на выбор методов всегда накладывает сама ситуация проведения исследования на человеке. В случае относительно быстрых неинвазивных методов, связанных с регистрацией коррелятов нейронной активности (ЭЭГ и МЭГ с их производными), вынужденной стратегией является искусственное ограничение движений глаз, так как они создают электромагнитные артефакты, сопоставимые по величине с интересующими исследователей сигналами. Основным методом современных нейрокогнитивных исследований – функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ/fMRI) – свободен от этих недостатков, но его временное разрешение, связанное с особенностями отражающего метаболизм кислорода сигнала BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent), недостаточно для регистрации событий в субсекундном диапазоне. Решением последней проблемы в рамках проекта PERCEPT стал новый метод FIBER (Fixation Based Event Related) fMRI, при котором суммация сигналов осуществляется в режиме естественного глазодвигательного поведения. Это, в частности, позволило выделить под множество относительно продолжительных зрительных фиксаций (>180 мс), опосредованных работой кортикальных механизмов “вентрального потока” и реализующих процессы внимательного анализа воспринимаемой картины.

Подобный углубленный экскурс в мозговые механизмы активного зрения в экологически естественных условиях восприятия не только опровергает старую философскую догму о том, что нельзя увидеть мир глазами другого человека, но и оказывается чрезвычайно полезным с практической точки зрения. Так, он позволяет значительно снизить субъективность диагности-

¹ Общее число анатомически и физиологически различных механизмов зрения, резюмируется, значительно больше. Уже на уровне сетчатки можно выделить до 80 различных групп клеточных механизмов, которые дают начало примерно 20 функциональным системам, участвующим в выполнении таких специальных функций, как цветовое зрение, рефлекторное изменение диаметра зрачка, а также регуляция биологических ритмов и даже настроения.

ческих оценок в медицине и других областях, связанных экспертной оценкой сложных образов. Он также важен для контроля внимания водителей автотранспорта и повышения безопасности других человеко-машинных систем, работающих в реальном масштабе времени. В наших работах было показано, что, отслеживая на основании показателей продолжительности фиксации и амплитуды саккад фазы внимательного восприятия ситуации, можно за 500 мс до внезапного опасного события с вероятностью выше 95% (и низкой вероятностью ложных тревог) предсказать ошибки водителя². Похожие подходы находят применение при создании средств поддержки практического взаимодействия людей на расстоянии, где проблемой для понимания всегда была референционная неопределённость дейктических высказываний (“Эту шутовину нужно прикрепить туда!”). Результатом выделения фокуса внимания и поддержки контактов глаза в глаза стало увеличение эффективности использования телеконференций в госуправлении и при решении инженерных задач в промышленности.

Важной сферой применения *когнитивных интерфейсов* является оказание помощи людям, лишённым в силу тех или иных причин возможности двигаться и говорить (locked-in syndrome), когда, изменяя одно лишь направление взора, человек может вызывать на экран нужную информацию и осуществлять с ней необходимые операции (рис. 3, слева). В настоящее время в мире насчитывается свыше 400 пользователей подобных систем. Особенно интересным направлением создания новых интерфейсов для промышленных, военных и медицинских применений представляется использование новых наноматериалов, таких как бидирекциональные стёкла (на базе Transparent Organic Light Emitted Diodes, или TOLED), позволяющих пространственно совмещать виртуальную информацию с реальным окружением и одновременно реализующих, на основе использования регистрации линии взора, простейшие коммуникативные намерения пользователя. По-видимому, именно эти материалы могут стать идеальным средством для создания мобильных систем расширенной реальности (augmented and mixed reality). Соответствующий интерфейс с функцией “взгляд–мышка” применяется во время эндоскопических операций (рис. 3, справа).

Интерфейсы на базе новых материалов позволяют решить ещё одну серьёзную проблему эндоскопических операций – отсутствие полноценной тактильной обратной связи. Такие работы интенсивно ведутся в МГУ, где под руководством академика В.А. Садовниченко создана модель тактильного механорецептора, применимого для определения характеристик тканей во время операций. В качестве материала для тактильных дисплеев нами изучаются характеристики реактивных полимеров – синтетических гидрогелей, меняющих поверхностные свойства под влиянием электрохимических и температурных воздействий. Так, материалы на основе акриловых молекул при 29 °С превращаются в жидкость (90% воды и 10% полимера), а при нагреве

² Впервые это было показано в работе: Velichkovsky B.M., Rothert A., Kopf M., Dornhoefer S.M., Joos M. Towards an express diagnostics for level of processing and hazard perception // Transportation Research. 2002. F5(2). P. 145–156. Перспективное направление оценки уровня бодрствования связано с анализом кожно-гальванической реакции. Передовые международные позиции в этой области занимает российская компания “Нейроком” (см. доклад академика Ю.В. Гуляева в этом номере).

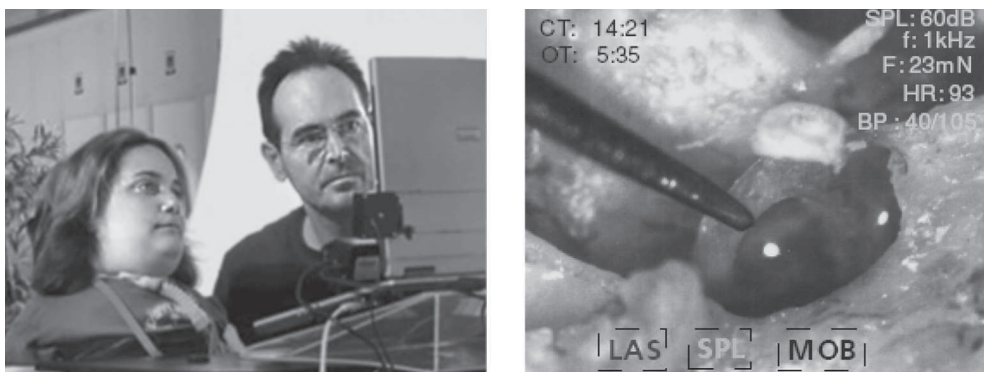


Рис. 3. Применение чувствительных к вниманию интерфейсов в системах опосредованной компьютерами коммуникации (слева) и при проведении эндоскопических операций (справа)

лишь на 6 °C затвердевают. На ощупь воспринимаемые характеристики поверхностей меняются в диапазоне от бархата до камня. Объем самих “актор-пикселей” может увеличиваться при этом более чем в 8 раз, что позволяет дополнительно отображать рельефы объектов. Наряду с минимально инвазивной хирургией, очевидными сферами применения реактивных полимеров являются элементы спецодежды и брайлевские дисплеи, которые будут отличаться от существующих пьезоэлектрических устройств долголетием, низкой стоимостью и возможностью отображения фигуративной информации.

От перспективных материалов для когнитивных интерфейсов перейду к рассмотрению молекулярных механизмов самих когнитивных процессов у человека. Возникшая всего пару лет назад “молекулярная психология” переживает сегодня период бурного развития. Проводятся исследования в области когнитивной геномики и когнотропных субстанций, разрабатываются методы молекулярного “ремонта” когнитивных функций и технические средства для строго локального введения лекарственных веществ в головной мозг человека и животных. Судя по другим выступлениям на этой сессии, центральное место при этом отводится функциям памяти. Именно в данной области в последние годы, благодаря использованию метода крупномасштабного секвенирования экзонов, был достигнут значительный прогресс в понимании генетических механизмов нормального и патологического развития. Следует отметить, однако, что при всей важности связанных с нейрогенезом структур гиппокампа процессов консолидации так называемой эпизодической информации память человека включает несколько функционально и физиологически различных систем и, кроме того, в целом выполняет в структуре когнитивных способностей человека, скорее, служебные функции. Подтверждая известное житейское наблюдение, что хорошая память не гарантирует заметных интеллектуальных достижений, психологические и нейрокогнитивные исследования свидетельствуют об особой роли процессов когнитивного контроля, реализуемого структурами наиболее новых в филогенетическом отношении лобных долей мозга³.

³ См. подробнее: *Величковский Б.М.* Когнитивная наука: Основы психологии познания. Т. 1, 2. М.: Академия, 2006. Центральная роль когнитивного контроля в возникновении речи

Лобные доли коры головного мозга человека, в особенности их префронтальные отделы, демонстрируют, как известно, быстрое развитие в антропогенезе (ср. классическое определение антропогенеза как “the age of frontal lobes”). Анализ индивидуальной вариативности когнитивного контроля позволяет выделить в его составе три основные функции: произвольное *подавление* иррелевантных ассоциаций, оперативное *обновление* меняющегося образа ситуации и *переключение* активности с решения одних на решение новых задач. С усилением процесса “конвергенции технологий” и особенно в связи с успешным секвенированием человеческого генома появилась возможность объяснить часть индивидуальной вариативности когнитивного контроля у человека влиянием генетических факторов. Наибольшее число таких исследований в настоящее время посвящено полиморфизму гена *COMT*. Кодирова производство фермента катехол-О-метилтрансферазы, этот ген участвует в регуляции метаболизма нейромедиатора дофамина и в одном из его аллелей является фактором риска в отношении нарушения высших форм внимания, оперативной памяти и скорости решения задач, а в предельном случае – возникновения шизофрении. Особенно отчётливо просматривается связь дофаминэргической системы мозга с метакогнитивной функцией переключения задачи.

В настоящее время мы проводим исследования особенностей познавательной сферы у людей с генетической предрасположенностью к развитию болезни Альцгеймера. С помощью специально разработанных адаптивных тестов изучаются особенности разных форм памяти и когнитивного контроля у носителей аллеля $\epsilon 4$ гена *APOE* (аполипопротеин E), расположенного на хромосоме 19. Белок аполипопротеин E участвует в метаболизме липидов, необходимых для сохранения и восстановления клеточных структур. У человека этот белок полиморфен. Три его изоформы – E2, E3 и E4 – отличаются аминокислотами в позициях 112 и 158 (рис. 4). Изоформы отличаются по сродству к липидам: E3 эффективно связывается с липидами средней и высокой плотности, E4 – с липидами низкой плотности. Наиболее распространён во всех изученных до сих пор популяциях мира аллель $\epsilon 3$ (от 47 до примерно 90%). Частота аллеля $\epsilon 4$ составляет 3–40%, а $\epsilon 2$ – до 15–20%. В многочисленных исследованиях показано, что у носителей аллеля $\epsilon 4$ уровень холестерина выше, чем у носителей других аллелей. Неоднократно была выявлена связь этого аллеля со старческой деменцией альцгеймеровского типа (почти 10-кратное увеличение вероятности в монозиготном варианте – $\epsilon 4/\epsilon 4$), с сердечно-сосудистыми заболеваниями и, как правило, более тяжёлыми последствиями травм головного мозга, влияющими и на когнитивные характеристики.

Проведённый нами анализ выявил достаточно противоречивое влияние аллеля $\epsilon 4$ гена *APOE* на когнитивные процессы и их мозговые механизмы. Как показатели различных когнитивных функций, так и параметры метаболической активности мозга демонстрируют, согласно этим результатам, разнонаправленные изменения, свидетельствуя в ряде случаев о высокой

показана в работе: Deacon T.W. Prefrontal cortex and symbol learning: Why a brain capable of language evolved only once // Communicating meaning: The evolution and development of language / Eds. B.M. Velichkovsky, D.M. Rumbaugh. Mahwah N.J: LEA Publishers, 1996.

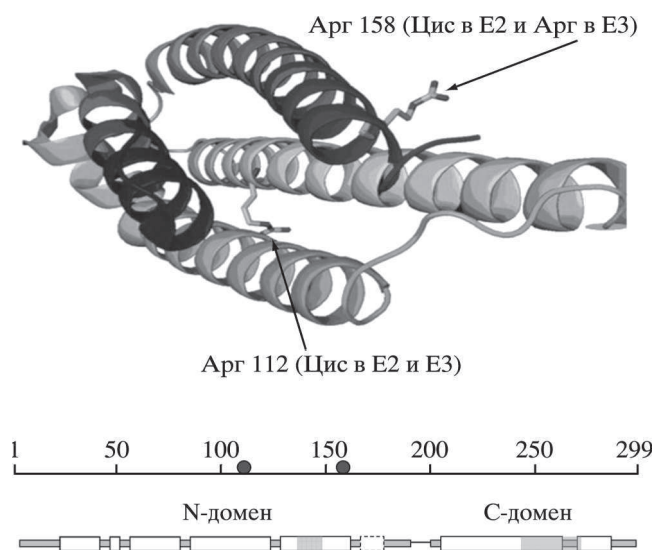


Рис. 4. Трёхмерная реконструкция белка АРРЕ-Е4 (вверху) и линейная развёртка белка АРРЕ с двумя доменами, обеспечивающими распознавание рецептора и связывание липидов (внизу)

Стрелками отмечены позиции замены аминокислот в других высокочастотных изоформах – Е2 и Е3

эффективности когнитивного контроля (в частности, функции подавления irrelevantной информации) у носителей данного аллеля. Это в какой-то степени позволяет объяснить его поразительную эволюционную устойчивость: именно он является исходной человеческой формой. Подобно гену *FOXP2*, модификация которого около 150 тыс. лет назад создала элементарные предпосылки для развития речевой коммуникации, он мог бы относиться к числу малоизученных пока генетических механизмов, которые “сделали нас людьми”, причём со стороны особенно важных для развития высших психологических функций механизмов когнитивного контроля. Можно, впрочем, считать установленным, что специфический пул когнитивных ресурсов, ассоциированный с *АРРЕ*ε4*, рассчитан на высокий уровень функционирования лишь в течение ограниченного, с точки зрения продолжительности жизни современного человека, времени. После 50 лет увеличение накапливающихся на разных уровнях организации мозга дефектов, как правило, уже не компенсируется дополнительной мобилизацией префронтальных механизмов, что в значительном числе случаев ведёт к характерной картине когнитивного снижения и последующего распада.

Индивидуальные различия длительное время оставались на периферии интересов экспериментальной психологии, а затем и междисциплинарной когнитивной науки, стремившихся дать самое общее описание организации познавательных процессов у человека. Изучение биологических основ индивидуальной изменчивости позволяет подойти к созданию ещё одного класса когнитивных технологий, обеспечивающих оптимальное развитие когнитивных функций и предотвращающих (по типу известных из медицинской генетики Disease Prevention Technologies) преждевременное снижение их функционирования. Наряду с методами воздействий на клеточном и молекулярном уровнях, а также процедурами специальной когнитивной тренировки, подходы к решению этих задач могут быть найдены в повседневной реальности, и связаны они с образом жизни человека. Так, знание иностранных языков улучшает параметры когнитивного контроля, одновременно

уменьшая вероятность нейродегенеративных заболеваний. Если же болезни Альцгеймера избежать не удаётся, то владение каждым дополнительным языком сдвигает её клинические проявления почти на целый год.

Заканчивая своё выступление, остановлюсь на волнующем всех нас вопросе о перспективах отечественных исследований и разработок. В целом усилия, предпринимаемые в нашей стране для создания современной инфраструктуры исследований в области нанотехнологий, высокопроизводительных вычислительных устройств (“суперкомпьютеров”) и биотехнологий, позволяют надеяться, что и работы в области когнитивной науки, а также её многочисленных практических приложений получат соответствующее ускорение. Многие направления когнитивных исследований первоначально возникли в работах таких классиков отечественной науки, как психологи Л.С. Выготский и А.Р. Лурия, физиологи П.К. Анохин и Н.А. Бернштейн, физики Е.К. Завойский и И.К. Кикоин, биофизик А.Л. Ярбус. Затем центр развития сместился, и инициатива была – хочется верить, лишь временно – утеряна. В среднесрочной перспективе Россия вполне может снова стать одним из мировых лидеров в этой области. Необходимо, как мне кажется, обратить внимание на два момента. Первый – воспитание культуры, благоприятствующей междисциплинарным исследованиям на основе критериев, принятых в естественных науках. Здесь в особенности необходимо выделить и поддержать программу междисциплинарноориентированных исследований (“офи-м”), начатую в 2009 г. РФФИ.

Второй момент связан с дальнейшим развитием самих методов исследований. Реализуя положение о конвергенции технологий, в ряде академических институтов, МГУ, а также в Институте когнитивных исследований совместно с другими институтами и лабораториями НБИК-центра РНЦ “Курчатовский институт” инициировано несколько взаимосвязанных направлений исследований. Речь идёт о разработке подходов к оценке деятельности мозга человека на основе мультимодальной регистрации магнитно-резонансных, электромагнитных и околомоторных индикаторов. Главная задача – преодоление существующих ограничений неинвазивных методов, обеспечивающих либо высокое пространственное (фМРТ на базе BOLD-сигнала), либо высокое временное (ЭЭГ/МЕГ) разрешение измеряемых данных. Предлагаемые новые физико-химические методы (MIT, EROS, NIRS и ABI – Analyzer-Based X-ray Imaging) позволяют надеяться на обеспечение временного разрешения в миллисекундном диапазоне при сохранении (или улучшении) пространственной точности и на создание предпосылок для последующего совмещения функционального и молекулярного имаджинга. Но разработки не могут быть доведены до стадии применения, если не появится возможность сравнить их с лучшими существующими в мировой науке технологиями. В частности, стандартом неинвазивного картирования активности мозга человека в последнее время быстро становится использование высокопольных магнитнорезонансных томографов (от 7 до 9Т). Отсутствие в нашей стране “палаты мер и весов” с образцами подобного оборудования серьёзно сдерживает развитие существующих идей и разработок.

Когнитивные исследования глубоко междисциплинарны по происхождению, а также по используемым в них методам и объяснительным схемам. Возникающие на их основе технологии являются последним и пока ещё на-

именее зрелым примером конвергентных технологий. Однако именно они имеют самое непосредственное отношение к психологии человека, его восприятию действительности и оценке тех или иных научных и технических нововведений. Поэтому появление прикладных когнитивных исследований как бы венчает процесс конвергенции НБИК-технологий. Оно задаёт ему общепонятный смысл и приемлемую для общества гуманистическую перспективу.

Часть приведённых в докладе материалов основана на исследованиях, поддержанных грантами РГНФ (09-06-01035а), РФФИ (09-06-00293а, 09-06-12003офи-м, 09-06-12007офи-м), Комиссии Евросоюза и ВМБФ (проекты COGAIN, PERCEPT и ZOOM).

НАУКА О МОЗГЕ НА ПУТИ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ СОЗНАНИЯ

*Член-корреспондент РАН
А.М. Иваницкий*

Мы окружены материальным миром и сами принадлежим к нему, но живём мы в мире нашего сознания, наших ощущений, мыслей, чувств. Реальный мир и мир, воспринимаемый нами, не всегда одно и то же. Наша жизнь – это жизнь нашего сознания. Поэтому так важна проблема исследования сознания. Перед наукой о мозге стоит задача понять, как на основе движения нервных импульсов возникает то, что мы ощущаем внутри себя – мир наших мыслей и чувств. Мировые тенденции решения этой проблемы таковы, что большинство учёных сейчас исходят из того, что объяснение должно быть основано на законах физического мира, без привлечения каких-либо толкований, выходящих за рамки этого мира.

Мозговая основа субъективного опыта. Английский философ Д. Чалмерз [1] считает, что проблема “сознание и мозг” включает две задачи: сложную и простую. Сложная задача – понять, как на основе работы мозга, то есть, по сути, на основе движения электрических нервных импульсов, возникает субъективный опыт, внутренний мир человека. Более простая задача (на самом деле, тоже очень трудная) – понять, какие мозговые механизмы лежат в основе определённых когнитивных (познавательных) действий. Долгое время считалось, что решение первой (сложной) задачи – дело достаточно отдалённого будущего. Но, как часто бывает, будущее внезапно приблизилось, и решение проблемы методами естественных наук стало делом сегодняшнего дня. Главную роль здесь сыграл прогресс науки о мозге, включая создание методов изображения живого мозга, таких как позитронно-эмиссионная томография, функциональная магнитно-резонансная томография и многоканальная электроэнцефалография.

Феномен “внезапного приближения будущего” очень интересен. Он известен многим достаточно пожилым людям из их повседневного опыта. Его можно сравнить с действием трансфокатора, то есть объектива с переменным фокусным расстоянием, использование которого даёт возможность

одним движением рычажка на фотоаппарате далёкое сделать близким. Отличие со стоит в том, что в случае с “приближающимся будущим” действие происходит не в пространстве, а во времени.

Сейчас предложено несколько подходов к объяснению того, как на основе мозговых процессов возникает субъективный опыт. Существенно, что эти подходы, как правило, не противоречат, а, скорее, дополняют друг друга, касаясь разных уровней и проявлений сознания. Первый из них восходит к известному высказыванию И.П. Павлова [2], который предположил, что сознание – это результат активности той области коры, которая находится в состоянии оптимальной возбудимости. Этот участок коры он считал творческим, в отличие от других её отделов, которые способны только к воспроизведению уже выработанных условных рефлексов. Павлов писал, что если бы мы могли видеть сквозь черепную коробку, то наблюдали бы причудливой формы перемещающееся по коре светлое пятно, которое и отражает область, связанную с сознанием. Отметим, что это единственное высказывание И.П. Павлова о возможных механизмах сознания, а в Указателе к академическому Полному собранию сочинений И.П. Павлова 1951 г., который вышел в свет в 1954 г. и насчитывает 86 страниц, слово “сознание” вообще отсутствует. Но самое удивительное, что теперь мы действительно видим “сквозь черепную коробку” и видим очень похожее на то, о чём говорил Павлов. Сходные взгляды значительно позднее были развиты в теории прожектора Ф. Крика и К. Коха [3]. Эти авторы считают, что в результате реверберирующих корково-таламических влияний создаются оптимальные условия для анализа в данной области коры наиболее важной информации, поступающей к этому участку. Этот процесс напоминает луч прожектора, высвечивающего существенные объекты наблюдения. Усиленные таким образом процессы обработки информации и определяют содержание сознания.

Второй подход основан на поиске ключевой структуры мозга, ответственной за поддержание сознания. Этот подход представлен теорией центрэнцефалической системы У. Пенфилда [4], согласно которой ключевую роль в поддержании сознания играет ретикулярная формация, получающая коллатерали как от сенсорных, так и от двигательных путей, проходящих через ствол мозга. Благодаря этому ретикулярная формация поддерживает необходимый тонус высших мозговых центров. Перерезка мозга выше ствола переводит эти отделы в состояние сна. Современный подход к решению проблемы сознания через поиск ключевой структуры представлен в работах А. Дамасио [5]. Автор основывает свои построения на наблюдении над больными с поражениями различных отделов мозга. А. Дамасио выделяет три уровня сознания, которым соответствуют три уровня внутреннего “я” – важнейшего компонента сознания.

Первый, низший, уровень – это неосознаваемое “прото-я”, функция которого заключается в отслеживании внутренней среды организма. Его обеспечивают некоторые ядра ствола, соматосенсорная кора, гипоталамус, инсула и базальные отделы переднего мозга. Следующий уровень – “коренное (сердцевинное) я”, которое осознаётся, но не вербализуется. Такое “я” отслеживает только сиюминутное “прото-я”. Его структурную основу составляют верхние бугорки, таламус и поясная извилина. Структуры первого и второго порядка расположены близко к срединной плоскости мозга. Они относятся к

филогенетически более древним образованиям и принимают участие в представлении тела. Эти виды сознания не нарушаются при поражении височной коры и гиппокампа. Первичные сенсорные структуры ответственны только за одну модальность, и их поражение не влияет на сознание первых двух уровней. Наконец, третий уровень – “автобиографическое я”, которое отслеживает все изменения “коренного я”. На этом уровне осознаётся также прошлое и будущее, причём события прошлого могут эксплицитно (произвольно) извлекаться из памяти. При поражении гиппокампа эта способность утрачивается. В обеспечении сознания третьего уровня, помимо гиппокампа, принимают участие высшие отделы коры.

К группе гипотез о ключевой структуре мозга можно отнести и представления о ведущей роли центров речи в обеспечении сознания [6]. Эти взгляды опираются, в частности, на данные о том, что выход больных с травмами мозга из комы совпадает с установлением когерентных связей между речевыми центрами в височной (зона Вернике) и лобной (зона Брока) коре левого полушария. По П.В. Симонову, сознание – это со-знание, то есть совместное знание, обеспечиваемое вербальной и иными видами коммуникации с использованием абстрактных символов.

Некоторые авторы указывают также на связь сознания с определёнными мозговыми ритмами, главным образом с гамма-ритмом [7]. Показано, что данный ритм возникает в зрительной коре при рассматривании изображений, что, по мнению исследователей, обеспечивает объединение отдельных признаков объекта в целостный образ.

Перечисленные подходы предоставляют ценный материал для понимания мозговых основ сознания. В то же время они не отвечают на главный (“трудный”, по Чалмерсу) вопрос: почему же при работе мозга возникает то, что мы ощущаем как мир внутренних, то есть субъективно переживаемых, феноменов. Попыткой приблизиться к поиску ответа на этот вопрос является четвёртый подход, который объясняет возникновение субъективного опыта особой организацией процессов мозга. Эта концепция будет рассмотрена более подробно, потому что она восходит, в частности, к моим работам [8, 9, 10] по теории информационного синтеза. Соответствующие исследования были проведены в 1970–1990-х годах, но есть смысл вернуться к ним в рамках обсуждаемой проблемы в связи с данными, опубликованными в последние годы.

Теория информационного синтеза была сформулирована на основе исследований мозговых механизмов ощущений. В эксперименте испытуемый решал задачу по различению интенсивности ощущений. Одновременно записывались вызванные потенциалы (ВП) на подаваемые сигналы и определялись психофизические показатели возникающих ощущений. Для определения последних была использована теория обнаружения сигнала [11], описывающая восприятие по двум параметрам: показателю сенсорной чувствительности и критерию решения, определяемому мотивацией. Затем рассчитывались корреляции между количественными показателями физиологии и психологии. Работа проводилась на двух анализаторах – зрительном и соматосенсорном, причём результаты в обоих случаях были принципиально сходны. Оказалось, что показатель сенсорной чувствительности коррелировал с ранними, сенсорными, волнами ВП. Наоборот, амплитуда поздних волн

коррелировала с критерием решения. Эти результаты были, до известной степени, ожидаемы. Новизна заключалась в том, что амплитуда промежуточных волн ВП коррелировала с обоими перцептивными индексами, то есть эти волны отражали синтез на нейронах коры новой сенсорной информации о поступившем сигнале со сведениями о его значимости.

Но самое интересное ожидало нас дальше. Оказалось, что латентность волн ВП, обнаруживших такую двойную корреляцию (около 150 мс), совпала со временем возникновения ощущений. Данные о том, что ощущение возникает значительно позднее прихода сенсорных импульсов в кору, получены ещё несколько десятилетий назад путём применения так называемой обратной маскировки [12]. Но наиболее точные измерения были проведены лишь недавно [13]. Маскирующий эффект при этом достигался применением транс краниального магнитного стимула. Полученные результаты указывали на то, что время появления ощущений составляет около 160 мс после предъявления зрительных изображений, что достаточно близко к латентности промежуточных волн ВП. Важно также, что маскирующий эффект достигался лишь при приложении магнитного импульса к зрительной коре, то есть там, где только и проявлялась двойная корреляция с перцептивными индексами.

Возник вопрос: что же происходит в мозге за это время? Иными словами, что обеспечивает переход физиологического процесса на психический уровень? Данные о генезе отдельных волн ВП и анализ литературы позволили прояснить картину. Ощущение возникает в результате кольцевого движения импульсов с активацией центров памяти, включая структуры гиппокампа, и мотивационных структур с последующим возвратом возбуждения в проекционную кору. Такой механизм обеспечивает возможность сопоставления и синтеза информации о физических и сигнальных свойствах стимула, что, как мы предполагаем, лежит в основе ощущений. Возврат возбуждения в зрительную кору был описан в последнее время и в работах Е.С. Михайловой с соавторами [14]. Континуум сознания, согласно нашим взглядам, состоит из последовательности образов продолжительностью около 100–150 мс каждый. Отметим, что эти взгляды близки к “кинематографической теории восприятия” У. Фримена [15].

Предложенная гипотеза даёт ответ и на один из существенных вопросов теории сознания, а именно – о мозговых механизмах осознания собственно “я”. Чувство “я” возникает в результате активации следов памяти, вызванной внешним сигналом. Ведь “я” – это, по существу, память о своей жизни, своих поступках в прошлом (что соответствует “автобиографическому я”, по А. Дамасио). Мозговые процессы организованы таким образом, что восприятие “я” и внешней реальности тесно связаны друг с другом: субъективный образ возникает в результате соединения внешнего сигнала и следов памяти, а в самом ощущении незримо присутствует “я” как субъект восприятия.

В 2008 г. была опубликована работа [16], которая по постановке задачи и выводам весьма близка к нашей. Авторы использовали 48-канальную запись ВП и более сложные методы математического анализа (преобразования Лапласа для расчёта плотности тока по поверхности коры с построением соответствующих карт). Вывод следующий: ощущение возникает через 160 мс после предъявления стимула за счёт рекуррентных (обратных) связей к проекционной затылочной коре. Авторы сопоставляли силу тока лишь с

точностью опознания, а не с отдельными перцептивными индексами, что было сделано в нашей работе и что позволило раскрыть внутренний смысл происходящих в коре процессов в виде синтеза сенсорной информации с памятью.

Идея о возврате импульсов к местам первоначальных проекций как основе психических функций и сознания человека высказывалась и другими исследователями. Наиболее развитой концепцией в этом ряду является теория “повторного входа” Дж. Эдельмана [17, 18]. Согласно этой теории, возврат импульсов к местам первоначальных проекций после опроса других структур даёт возможность сравнить новую поступившую информацию с прошлым опытом и на этой основе провести его корректировку. Эта теория получила заслуженное мировое признание.

К.В. Анохин развивает концепцию реконсолидации (перезаписывания) следов памяти после их извлечения и использования в данных конкретных условиях. Эта идея, как нам представляется, хорошо согласуется с теорией синтеза сенсорной информации с памятью как основой психических феноменов. Она близка и к теории повторного входа Дж. Эдельмана. Если это сходство действительно имеет глубокие корни, то оно, возможно, позволит соединить представления об организации нервных процессов с определёнными молекулярными механизмами. В основе сознания лежит, таким образом, идея обновления, которая придаёт жизни её высший смысл и определяет постоянное стремление человека к новому.

Сознание человека состоит не только из последовательности образов. Оно также способно манипулировать этими образами и символами, формируя мыслительный процесс. В последующих исследованиях идея информационного синтеза была развита нами применительно к механизмам мышления. В этих работах [10, 20] изучалась картина корковых связей при решении конкретных когнитивных заданий. Установлено, что сравнительно простой и симметричный рисунок связей, характерный для состояния покоя, при мышлении меняется: связи начинают сходиться к определённым полям ассоциативной коры. Такие центры связей были названы “фокусами взаимодействия”. Топография фокусов определяется типом мышления. При образном мышлении фокусы локализуются в теменно-височной, а при вербально-логическом мышлении – в лобной коре. Гипотетически фокус состоит из групп нейронов, каждая из которых соединена гибкими связями с нейронами на периферии. Они работают на той же частоте и объединены в единую нейросеть на основе принципа изосинхронии. Внутри фокуса группы нейронов объединены жёсткими связями, что даёт возможность интегрировать информацию, циркулирующую в отдельных нейросетях (рис. 1). Синтез в фокусе информации, поступающей из сенсорных систем, из памяти и центров мотиваций, лежит в основе принятия решения. Эти взгляды в известной степени сходны с развиваемыми Дж. Эдельманом и Дж. Тонони [18] представлениями о том, что существенную роль в обеспечении сознания играют кластеры нервных элементов, обозначаемые как “динамические сердцевины”. Эти структуры соединяют в себе два свойства: связанность элементов между собой и сложность, которая определяется неоднородностью входящих в структуру элементов. По образному сравнению авторов, такая структура напоминает семью, где каждый член имеет свои собственные знакомства и интересы,

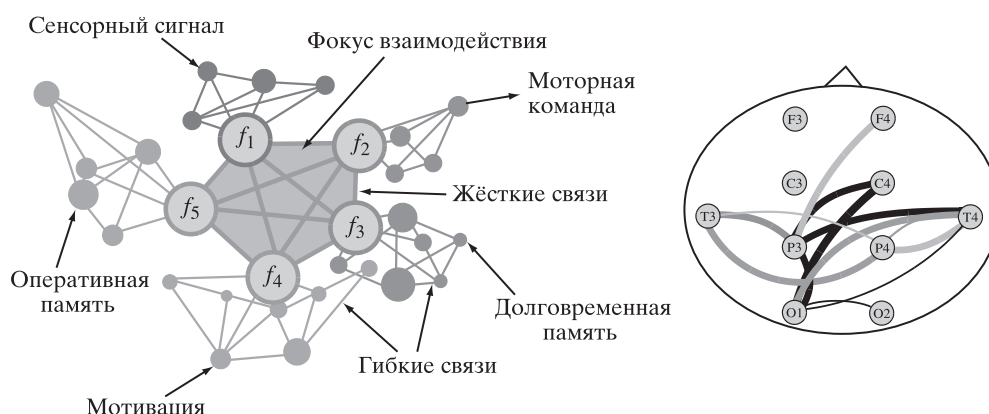


Рис. 1. Схема фокуса взаимодействия, осуществляющего синтез информации в процессе мышления

Фокус состоит из групп нейронов, объединённых жёсткими связями. Каждая группа представляет в фокусе определённую нервную сеть, нейроны которой объединены на основе принципа изосинхронии. Справа показана картина гибких корковых связей при решении задачи на пространственное мышление

но все они объединяются в одну ячейку, живущую общими интересами. Сходные представления развивает и А. Дамасио [21], который считает, что центры активации, выявляемые в коре методом функционального магнитного резонанса, являются зонами, к которым сходятся различные виды информации. Представляется знаменательным, что близкие взгляды на механизм сознания высказываются авторами, работающими независимо друг от друга и использующими разные методы.

Таким образом, можно сделать вывод, что синтез информации, включающей три основных компонента (сенсорная информация, сведения, извлекаемые из памяти и приходящие от центров мотивации), очевидно, является важным звеном в генезе субъективно переживаемых феноменов.

Ритмические корреляты когнитивных функций. Выше были описаны фокусы взаимодействия, в которых осуществляется синтез информации, что, как мы полагаем, лежит в основе процесса принятия решения. Важной особенностью нейросетей, объединяемых в фокусе, являются их ритмические свойства. Ещё в первых работах Г. Бергера в конце 1920-х годов были получены данные о связи мыслительных процессов с ритмами мозга. Ритмы альфа- и тета-диапазонов связывают с процессами внимания и памяти. Изменения ритмов мозга во время выполнения заданий имеют тонкую частотную структуру [22].

Наши эксперименты, выполненные в последние годы, также демонстрируют явную зависимость ритмов мозга от когнитивных процессов. Эта зависимость имеет столь выраженный характер, что оказалось возможным распознавать тип мыслительной деятельности на коротких отрезках электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в режиме времени, близком к реальному [23, 24, 25].

Испытуемым для решения предлагались задания двух типов – пространственно-образные и вербально-логические – в двух модальностях (слуховой и зрительной). Среднее время решения задач составило 10–15 с. С некоторыми

испытуемыми эксперимент был повторён через несколько дней или месяцев. Всего было подготовлено шесть видов заданий для каждого типа мышления, в зрительной и слуховой модальности (около 100 стереотипных задач для каждого вида, то есть вербальности, ввиду того что испытуемый слушал в общей сложности около 1200 задач). Отдельные виды заданий включали, например, сечение куба или транспортную развязку для пространственного мышления и решение анаграмм или поиск недостающего слога, который служил бы окончанием первого и второго слова, для вербального мышления.

На рисунке 2 в верхнем левом углу показаны два вида заданий: вербально-логическое и пространственное, оба в зрительной модальности. Следует упомянуть, что пространственные задачи, предъявленные на слух, содержали признаки вербальности, ввиду того что испытуемый слушал и осмысливал словесную инструкцию, прежде чем решал задачу (в некоторых случаях решение и осмысление инструкции проходило одновременно). Испытуемые тренировались решать задачи до начала эксперимента. На этом же рисунке изображена схема метода. Отрезки ЭЭГ длительностью 3–20 с, соответствующие решению задач в уме, подвергались спектральному анализу, а именно, вычислению квадратов модуля быстрого преобразования Фурье для каждого канала ЭЭГ в полосе 5–20 Гц. Полученные таким образом единичные спектры (которые являются оценкой устанавливающихся на время решения паттернов ритмов мозга) были разделены на две выборки: учебную и контрольную. Например, учебная выборка могла состоять из спектров, полученных в начальном эксперименте, в то время как контрольная – из спектров, полученных в отсроченном эксперименте несколько месяцев спустя; либо данные одного дня могли быть случайным образом разделены на две части.

Применялась двухслойная искусственная нейронная сеть (ИНС) типа Перцептрон [25]. На учебной выборке данных сеть научалась различать или два принципиальных класса входных векторов (вербальное и пространственное мышление), или несколько их классов (конкретные виды когнитивных заданий). Обученная ИНС идентифицировала затем единичные отрезки ЭЭГ из контрольной выборки как принадлежащие к одному из рассматриваемых классов, основываясь на ритмических свойствах анализируемых отрезков ЭЭГ. Таким образом, ИНС “распознавала” отрезки и относила их либо к одному из типов мышления (вербально-логическому или пространственному), либо к одному из конкретных видов задач.

Обучение ИНС состоит в настройке весов связей между входным и выходным слоями нейроноподобных элементов. В грубом приближении эти веса можно считать аналогом синапсов в реальных нейронных сетях. Анализируя веса, найденные ИНС на этапе обучения, экспериментатор может видеть, какие ритмические свойства электрической активности мозга являются наиболее специфичными для тех или иных типов умственной активности.

Полученные результаты можно кратко суммировать следующим образом:

- в процессе выполнения когнитивных заданий в электрической активности мозга человека появляются характерные ритмы тета-, альфа- и бета-диапазонов. Совокупность одновременно присутствующих ритмов образует характерный пространственно-частотный паттерн ЭЭГ;

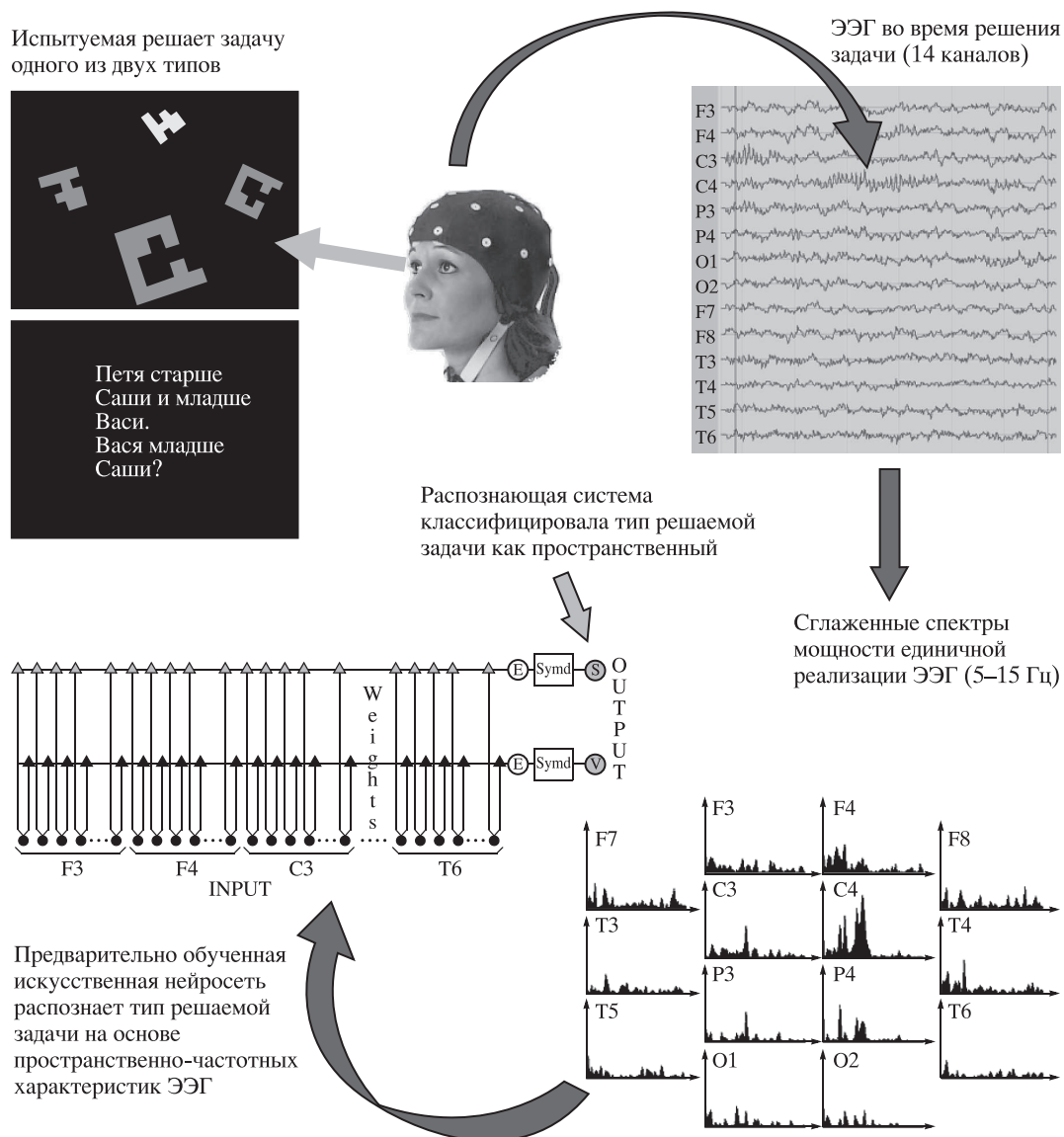


Рис. 2. Оpozнание типа совершаемой в уме мыслительной операции по рисунку ЭЭГ
Опознание производит искусственная нейронная сеть, предварительно обученная на образцах спектров ЭЭГ

- ритмические паттерны различны для разных типов когнитивной деятельности;
- характерные ритмические паттерны индивидуальны; тем не менее испытуемые разбиваются на группы (типы) по характеру устанавливающихся ритмических паттернов (работы по созданию типологии индивидуальных паттернов продолжаются);
- свойства ритмических паттернов устойчивы во времени, во многих случаях они сохраняются неизменными в течение нескольких месяцев. Каждый

раз, когда испытуемый решает задачу определённого типа, в электрической активности его мозга устанавливается один и тот же пространственно-частотный паттерн;

- паттерны мало зависят от модальности стимулов и степени сложности задания, следовательно, они отображают тип мышления как таковой;

- паттерны могут иметь смешанную природу: в процессе решения пространственной задачи, предъявленной на слух, они способны приобретать свойства обоих типов мышления (вербального и пространственного), поскольку испытуемый слушает и осмысливает вербальную инструкцию до или в процессе решения пространственной задачи;

- в ходе эксперимента показана возможность распознавать тип задачи в процессе её решения на основе анализа ритмических свойств нескольких секунд ЭЭГ (начиная от 3 с), то есть в режиме времени, близком к реальному.

Высокая межиндивидуальная вариабельность электроэнцефалографических признаков типов мышления может быть объяснена тем, что при знаках, используемые для классификации/распознавания, соответствуют неспецифическим информационным процессам мозга, таким как направленное внимание, память, эмоциональный статус или мотивация. Привычный для данного лица набор таких сопровождающих процессов позволяет решать знакомую задачу надёжно и стандартным способом.

В последние годы интерес к работам по анализу информационной, содержательной стороны работы мозга по его физиологическим показателям значительно возрос. Эта проблема обозначается как “чтение мозга” (*brain reading*) по аналогии с тем, как человек постигает содержание текста по буквенным символам. Помимо чисто теоретического значения, проблема имеет и практические выходы – при создании более совершенного поколения интерфейсов между мозгом и компьютером.

Большинство работ описывают распознавание категорий предъявляемых стимулов по единичным реализациям сигнала, используя показатели функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) длительностью порядка 20 с с надёжностью распознавания около 90%. Это прежде всего исследования Дж. Хаксби, в которых стимулы предъявлялись зрительно [26], и П. Пьетрини с тактильным предъявлением стимулов [27], а также работы С.В. Шинкарёвой [28]. Однако следует отметить несколько важных отличий наших исследований. Во-первых, мы распознаём не просто восприятие сенсорных стимулов, а типы сложной когнитивной деятельности. Во-вторых, у нас лучшее временное разрешение. Наконец, ЭЭГ несравненно дешевле и доступнее, чем фМРТ, что позволяет рассчитывать на практическое применение разрабатываемой технологии. Скажем, когда авиадиспетчер следит на экране радара за полётами самолётов и его внимание отвлеклось, система способна сразу это отследить и дать оператору предупредительный сигнал.

Гипотеза биологических основ понимания. Проблема понимания, разрабатывавшаяся ранее преимущественно психологами и философами, приобрела особое значение в связи с исследованиями по созданию искусственного интеллекта. Принято считать, особенно после трудов Р. Пенроуза [29], что компьютер, в отличие от живого мозга, способен только к вычислениям, но не к пониманию. Остаётся загадкой, почему компьютер, совершенное создание человеческого мозга, не способен понимать, в то время как, например,

кошка многое понимает. Что же может сказать по этому поводу физиолог, претендующий на объяснение происхождения психических феноменов?

Анализируя процесс понимания, можно прийти к выводу, что он базируется на ассоциативном мышлении и способности сравнивать незнакомые явления с уже известными, на возможности группировать сходные объекты, отличая их от других. Может ли компьютер выполнять подобные операции? Ответ очевиден: может – пример в предыдущем разделе. Не значит ли это, что понимание в нашем представлении должно опираться на некоторую более глубокую биологическую основу?

Предлагается гипотеза, согласно которой понимание (а понимание, в сущности, только субъективное чувство, далеко не всегда верное) возникает, когда новая информация соотносится с конкретной жизненной потребностью. Используя терминологию И.П. Павлова, можно сказать, что понимание связано с подкреплением. В естественных условиях животное научается действовать определённым образом, чтобы удовлетворить ту или иную потребность, то есть оно начинает понимать, как достичь желаемого результата. Аналогичный приём используется при дрессировке. По сути, этот же принцип верен и для человеческого общества. Рыночные отношения целиком построены на желании заработать побольше, что бы всё в большей мере удовлетворять растущие потребности.

В соответствии с одной из базовых теорем тематической логики – теоремой Гёделя – невозможно доказать вычислениями правильность основных арифметических действий, например, что $1 + 1 = 2$, хотя для каждого из нас суть такого удвоения очевидна из повседневной практики. Важно, что способность к пониманию этого в эволюции возникает раньше, чем способность к счёту. Так, собака знает всех членов семьи хозяина, отличая их от чужих людей. Ребёнок способен перечислить все свои игрушки, хотя не может их сосчитать.

Говоря о человеческих потребностях, необходимо иметь в виду, что они не ограничиваются простыми биологическими нуждами. Согласно П.В. Симонову [6], у человека, помимо биологических потребностей, есть и потребности социальные (например, занять определённое место в обществе), и идеальные – такие, как потребность познавать.

Итак, подкрепление показывает, является ли поведение правильным или ошибочным. Информация, поступающая по сенсорным путям и извлекаемая из памяти, подвергается в мозге вычислениям, возможно, сходным с теми, которые производит компьютер. Но сведения из мотивационных центров кодируются в мозге иначе. Скорее всего, при этом используется знаковая система координат $+/-$ (полезно/вредно). Сопоставление результатов вычислений с такой оценкой придаёт вычислениям определённый жизненный смысл.

Конечно, эта схема действует лишь в относительно простых случаях. В действительности ситуация обычно столь сложна, что её невозможно просчитать до конца. Поэтому субъект, как правило, должен довольствоваться лишь приемлемой вероятностью удовлетворения потребности, лишь приближением к желанной цели благодаря намечаемым поступкам. Именно этот уровень вероятности и воспринимается как субъективное чувство понимания, которое служит сигналом того, что надо прекратить вычисления и переходить к действиям. Предложенная гипотеза в целом хорошо соотносится

с данными о том, что понимание возникает при активации поля BA11 вентромедиальной орбито-фронтальной коры, связанной с удовлетворением потребности и наградой [30]. Знаменателен и следующий факт: префронтальная кора получает иннервацию и от дофаминэргических подкорковых нейронов. Таким образом, эволюционно наиболее поздний отдел мозга использует, в том числе, и один из наиболее старых медиаторов. Структура, обеспечивающая особенно сложные вычисления, как бы напрямую соотносится с отделами мозга, имеющими отношение к потребностям. Процесс эволюции здесь как бы закольцован. Отметим, что сходные с высказанными нами взгляды развивает У. Фримен [31], утверждая, что естественные вычисления, в отличие от искусственных, всегда интенциональны, направлены на достижение определённой цели.

В соответствии с предложенной гипотезой, для того чтобы создать понимающий компьютер, необходимо снабдить его потребностями, и как раз на это направлены усилия учёных. Ясно, что это задача далеко не простая. Вряд ли можно считать признаком потребности писк мобильного телефона, когда его батарея разряжена.

В первой части доклада доказывалось, что субъективный опыт возникает в результате информационного синтеза, необходимым компонентом которого являются сведения о значимости сигнала. Тот же принцип, очевидно, применим и к субъективному чувству понимания. Общее правило: психическое возникает на основе синтеза новой информации с памятью и мотивацией.

Можно ли распространить эту формулу и на искусственный интеллект? Полагаю, что да, но вопрос остаётся открытым. Функция сознания – понимать окружающее, чтобы знать, как превратить желания в действия. При решении этой задачи понимающий компьютер мог бы быть не только советником, но и другом.

Завершить выступление я хотел бы выдержкой из стихотворения Фёдора Ивановича Тютчева, которое, мне кажется, близко по своей идее к нашим изысканиям, хотя оно было написано 150 лет назад:

Так связан, соединён от века союзом кровного родства
Разумный гений человека с творящей силой естества.
Скажи заветное он слово, и миром новым естество
Всегда откликнуться готово на голос родственный его.

Работа поддержана программой Президиума РАН “Фундаментальные науки – медицине”; программой Отделения биологических наук РАН; грантами РГНФ (проект № 08-06-00077а) и РФФИ (проекты № 08-04-01629а и № 09-04-12182-офи-м).

Литература

1. *Chalmers D.J.* Facing up to the problem of consciousness // *Journ. Consciousness Studies*. 1995. № 2.
2. *Павлов И.П.* Объективное изучение высшей нервной деятельности животных. Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности животных. Полн. собр. соч. Т. 3. Кн. 2. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1951. С. 236–250.
3. *Crick F., Koch Ch.* Towards a neurobiological theory of consciousness // *Seminars in the neurosciences*. 1990. № 2.
4. *Penfield W.* The Mystery of the Mind. N.Y., 1975.

5. *Damasio A.* The feeling of what happens. Body and emotion in the making of consciousness. San Diego– N.Y.–L.: A Harvest Book, 1999.
6. *Симонов П.В.* Лекции о работе головного мозга. Потребностно-информационная теория высшей нервной деятельности. М.: Наука, 2001.
7. *Singer W., Gray C.M.* Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis // *Ann. Rev. Neurosci.* 1995. № 8.
8. *Иваницкий А.М.* Мозговые механизмы оценки сигналов. М.: Медицина, 1976.
9. *Иваницкий А.М.* Информационный синтез в ключевых отделах коры как основа субъективных переживаний // *Журнал высш. нерв. деят.* 1997. № 47.
10. *Иваницкий А.М., Стрелец В.Б., Корсаков И.А.* Информационные процессы мозга и психическая деятельность. М.: Наука, 1984.
11. *Swets Y., Tanner W., Birdsall T.* Decision process in perception // *Psychol. Rev.* 1961. V. 68. P. 15.
12. *Froehlich F.W.* Die Empfindungszeit: Ein Beitrag zur Lehre von der Zeit-Raum und Bewegungsempfindung. Jena, 1929.
13. *Beckers G., Homberg V.* Impairment of visual perception and visual short term memory scanning by transcranial magnetic stimulation // *Exp. Brain Research.* 1991. № 87.
14. *Мухайлова Е.С., Жила А.В., Славущая А.В. и др.* Траектории движения дипольных источников зрительного вызванного потенциала по мозгу человека // *Журнал высш. нервн. деят.* 2007. № 57.
15. *Freeman W.J.* A cinematographic hypothesis of cortical dynamics in perception // *Int. Journ. Psychophysiol.* 2006. № 60.
16. *Fahrenfort J.J., Scholfe H.S., Lamme V.A.F.* The spatiotemporal profile of cortical processing leading up to visual perception // *Journ. of Vision.* 2008. V. 8. P. 1–12.
17. *Эдельмен Дж.* Селекция групп и фазная повторная сигнализация: теория высших функций головного мозга // *Эдельмен Дж., Маунткасл В.* Разумный мозг / Под ред. Е.Н. Соколова. М.: Мир, 1981. С. 68–131.
18. *Edelman G., Tononi G.* *Consciousness. How Matter Becomes Imagination.* L.: Penguin Books, 2001.
19. *Иваницкий А.М.* О книге Джеральда Эдельмана и Джулио Тонони “Сознание. Как материя приобретает способность к воображению” (Gerald Edelman and Giulio Tononi. “Consciousness. How matter becomes imagination”. L.: Penguin Books. 2000) // *Журнал высш. нервн. деят.* 2002. № 52.
20. *Иваницкий А.М., Ильюченко И.Р.* Картирование биопотенциалов мозга при решении вербальной задачи // *Журнал высш. нерв. деят.* 1992. № 42.
21. *Damasio A.* *Descartes’ Error: Emotion, Reason and the Human Brain.* Grosset, Putham, 1994.
22. *Fink A., Grabner R.H., Neuper C., Neubauer A.C.* EEG alpha band dissociation with increasing task demands // *Cognitive Brain Research.* 2005. № 24.
23. *Иваницкий Г.А.* Распознавание типа решаемой в уме задачи по нескольким секундам ЭЭГ с помощью обучаемого классификатора // *Журнал высш. нервн. деят.* 1997. № 47.
24. *Иваницкий Г.А., Наумов Р.А., Иваницкий А.М.* Технология определения типа совершаемой в уме мысленной операции по рисунку электроэнцефалограммы // *Технологии живых систем.* 2007. № 4.
25. *Иваницкий Г.А., Наумов Р.А., Роук А.О., Иваницкий А.М.* Как определить, чем занят мозг, по его электрическим потенциалам? Устойчивые паттерны ЭЭГ при выполнении когнитивных заданий // *Вопросы искусственного интеллекта.* 2008. № 1.
26. *Haxby J.V., Gobbini M.I., Furey M.L. et al.* Distributed and Overlapping Representations of Faces and Objects in Ventral Temporal Cortex // *Science.* 2001. № 293.
27. *Pietrini P., Furey M.L., Ricciardi E. et al.* Beyond sensory images: Objectbased representation in the human ventral pathway // *PNAS.* 2004. № 101.
28. *Shinkareva S.V., Mason R.A., Malave V.L. et al.* Using fMRI brain activation to identify cognitive states associated with perception of tools and dwellings // *PLoS ONE.* 2008. Is. 1. P. 1394.
29. *Пенроуз Р.* Тени разума. В поисках науки о сознании. Ч. 1. Понимание разума и новая физика. М.– Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2003.
30. *Maguire E.A., Frith C.D., Morris R.G.* The functional anatomy of comprehension and memory: the importance of prior knowledge // *Brain.* 1999. № 22.
31. *Freeman W.J.* The neurobiological infrastructure of natural computing: intentionality // *New mathematics and natural computations.* 2009. V. 5. № 1.

МОЗГ И ПАМЯТЬ: БИОЛОГИЯ СЛЕДОВ ПРОШЕДШЕГО ВРЕМЕНИ

Член-корреспондент РАН
К.В. Анохин

Науки о мозге занимают важное место в прогрессе человеческого познания. По складывающемуся в последние годы мнению, исследованиям мозга и биологии разума предназначено сыграть в первой половине XXI в. такую же роль, какую в науке второй половины XX в. сыграли исследования генов и химии жизни. Эта аналогия опирается на тот факт, что раскрытие структуры ДНК выступило триггером к объединению биологических наук в прошлом столетии, заложив единую интеллектуальную и методическую основу для генетики и биохимии, вирусологии и микробиологии, иммунологии и нейробиологии, биологии развития и эволюционной биологии, онкологии и многих медицинских наук. Сегодня есть все основания полагать, что наука о мозге обладает аналогичным потенциалом. Постигание высших функций мозга способно сформировать общую естественно-научную платформу для конвергентного развития психологии и философии, лингвистики и антропологии, филологии и педагогики, экономики и юриспруденции, социологии и истории, этики и искусствоведения – всех дисциплин, связанных с изучением процессов и результатов человеческой деятельности. В установлении этих связей между естественными и гуманитарными науками особая роль принадлежит науке о памяти.

НАУКА О ПАМЯТИ

Уникальное место исследований памяти в науках о мозге и разуме определяется тем необычайным диапазоном, которым обладает данная проблема. Рассмотрим лишь два полюса этой шкалы.

В биологии понятие “память” обозначает свойство живых систем сохранять и воспроизводить свои прошлые адаптивные состояния. Способность к обучению и памяти является, по-видимому, общей характеристикой организмов с нервной системой. Она присутствует даже у животных с простейшими сетями нейронов, например, у почвенных нематод *C. elegans*, имеющих всего 302 нервные клетки. Полагают, что простейшие формы памяти – привыкание и сенситизация – возникли у древних кишечнополостных, предков современных *Cnidaria* и *Ctenophora* и эволюционировали в ассоциативную память при цефализации нервной системы у древних *Bilateria*. По мнению некоторых авторов, именно появление обучения и памяти и связанное с этой поведенческой пластичностью освоение новых экологических ниш лежало в основе так называемого кембрийского взрыва, давшего 540–515 млн лет назад большинство существующих сегодня видов животного царства [1]. Помимо нейробиологической, организмы обладают также иммунологической и эпигенетической памятью. Иммунологическая память, способность иммунной системы отвечать более быстро на антиген, с которым у организма был предварительный контакт, позволяет адаптивно отличать своё от чужого на

донервном, молекулярном уровне. Эпигенетическая память отражает ещё более древние процессы – способность клеток сохранять функциональные или структурные состояния в отсутствии первоначально вызвавших их условий. Эта память не только играет ключевую роль в процессах развития и клеточной дифференцировки тканей и систем, включая нервную, но и определяет фенотипическую пластичность организмов, не имеющих нервной системы, – растений и одноклеточных. Биологические исследования последних лет обнаруживают удивительное молекулярное подобие механизмов разных форм памяти – от одинаковых сигнальных молекул и каскадов – цитокинов, нейромедиаторов, клеточных рецепторов, ионных каналов, вторичных посредников и протеинкиназ – до сходства эпигенетических механизмов поддержания приобретённых клеточных состояний – модификаций гистонов и хроматина, метилирования ДНК и регуляторной роли коротких нетранслируемых РНК [2]. В этом смысле категория памяти пронизывает всю биологию, занимая в ней такое же фундаментальное место, как категория симметрии в физике.

В человеческой культуре понятие “память” ассоциируется прежде всего с субъективным опытом – основой неповторимого содержания нашей личности. Потеря памяти равноценна утрате человеком его собственного “я”, обрекая его, как перенёсшего инсульт героя У. Эко, на жизнь в тумане и мучительные попытки обрести путь к себе, реконструируя своё прошлое. Тема памяти, погружения в пережитое и возвращения к истокам собственной личности, эпитомизированная семью томами “В поисках утраченного времени” М. Пруста с их 2000 персонажами, вызванными из памяти к жизни забытым вкусом венского печенья, пронизывает всю историю художественной литературы. В философии постижение природы памяти составляет двухтысячелетнюю традицию – от Платона и Аристотеля до Бергсона, Гуссерля и Хайдеггера. Она соединяет память с опытом и знанием, языком и культурой, вскрывая её несущую функцию в генезисе человеческой цивилизации. В сочинениях Блаженного Августина память превращается в главную сокровищницу души и разума, жизнь души невозможна вне памяти. Он первым связал память со временем – его психологической и исторической трактовкой. Центр тяжести существования души перемещается, таким образом, из космоса в историю, а время из категории космической становится категорией исторической. Понятие исторической или культурной памяти тесно сочетается с памятью социальной или коллективной, как её обозначил ученик Дюркгейма и Бергсона М. Хальбвакс. Память человека, настаивал Хальбвакс, имеет исторический характер и детерминирована социально, поскольку “разум реконструирует прошлое под давлением общества” [3]. Философский и психологический анализ показывает, что память является неотъемлемым атрибутом сознания, которое возникает в результате сопоставления образов мира с материалом памяти субъекта [4]. Поэтому неудивительно, что ещё столетие назад в психологической литературе память рассматривалась как категория души. Современная когнитивная психология продолжает нести отпечатки этой связи, соотнося эпизодическую память с автоноэтическим сознанием [5].

Описанные лики памяти выглядят настолько далёкими друг от друга, что могут появиться сомнения в их сопоставимости. Задача науки о памяти – построить концептуальный мост, который установил бы причинные связи этих полюсов. Такая задача сложна, однако она имеет ряд предпосылок, де-

лающих её перспективной в качестве эмпирической программы. Перечислим некоторые из них, сравнив их для лучшего понимания с проблемами изучения биологических основ другой высшей функции мозга – сознания.

1. Сознание, в силу его определения и условий отчёта от первого лица, чрезвычайно трудно сделать объектом экспериментальных исследований на животных. Память, наоборот, можно успешно моделировать и выявлять у организмов самых разных таксономических групп – от беспозвоночных до высших приматов. Это не только позволяет исследовать эволюцию памяти, но и открывает возможность анализа её нейробиологических механизмов с привлечением всего арсенала генетических и фармакологических манипуляций, стимуляции и разрушений областей мозга, которые невозможны на человеке.

2. Изучение нервных основ сознания в настоящее время ограничено преимущественно нейроанатомическим уровнем – соотношением активности в системах нейронов и областях головного мозга. Оно очень редко опускается до анализа на клеточном уровне и практически никогда – на молекулярном. Проблема памяти, наоборот, имеет содержательный вес в области клеточных и молекулярных механизмов. Это не только расширяет её диапазон, но и делает её открытой для подходов клеточной биологии и молекулярной генетики, включая синаптическую нейрофизиологию и оптический имиджинг, анализ рецепторной пластичности, внутриклеточной сигнализации и регуляции экспрессии генов.

3. Сознание с точки зрения его нейробиологии – это прежде всего процесс. Его механизмы можно исследовать лишь нейродинамически – в то время, пока оно присутствует. Память – это не только процесс, но и его результат, который существует в виде разного по продолжительности последствия. Поэтому память можно также исследовать по оставляемым ею структурным следам. Это позволяет применить к ней различные структурные подходы – от электронной микроскопии синапсов до математического моделирования пластических перестроек нервных сетей.

4. Исследования нейробиологии сознания имеют пока небольшую историю и ограниченный эмпирический базис. Нейробиология памяти за десятилетия своего существования накопила огромный фактический материал, который может служить задаче построения полноценной теории этого феномена.

В силу перечисленных преимуществ наука о памяти может иметь и другую, более широкую миссию, чем лишь синтез естественно-научных и гуманитарных подходов к изучению рассматриваемого феномена. Некоторые исследователи полагают, что она может сыграть роль своего рода Розеттского камня в изучении тайн мозга, открывающего путь к расшифровке алфавита других высших нервных функций, включая механизмы сознания [6].

ПАМЯТЬ И МОЗГ: ДЕКОМПОЗИЦИЯ ПРОБЛЕМЫ

Более трёх с половиной веков назад в “Страстях души” Р. Декарт предпринял первую попытку объяснить, как память образуется, хранится и извлекается мозгом: «Когда в душе возникает желание что-то вспомнить, оно заставляет [эпифизную] железу, попеременно наклоняющуюся в разные стороны, направлять “животные духи” в различные части мозга до тех пор, пока

они не встретят следов, оставленных тем предметом, который душа хочет вспомнить. Эти следы – не что иное, как приобретённое свойство пор мозга, через которые раньше проходили “духи”, вызванные этим предметом, открываться с большей готовностью “духам”, повторно приходящим к ним. Таким образом, “духи”, встречая эти поры, входят в них легче, чем в другие, и вызывают особое движение в железе, передающее душе этот предмет и указывающее ей на то, что он и есть тот самый, который она хотела вспомнить» [7].

Декартовская идея упражнения “пор” с помощью “животных духов”, на 200 лет предварившая открытие нервного возбуждения, нейронов и синаптических контактов, стала путеводной нитью для поисков связи памяти и мозга. Наука о памяти возникла в конце XIX в., чтобы, по выражению известного историка Я. Хакинга, “секуляризовать душу – эту неподатливую сердцевину западной мысли и практики” [8]. Её пионерами были Г. Эббингауз в Германии, Т. Рибо во Франции и С.С. Корсаков в России. Они заложили основы научных исследований памяти, которые направляются тремя вопросами:

- как память образуется и фиксируется в мозге? (*проблема формирования памяти*);
- как память поддерживается в мозге на протяжении длительного времени? (*проблема хранения памяти*);
- как память избирательно извлекается, когда это необходимо? (*проблема воспроизведения памяти*).

Исследования этих процессов составили предмет одной из самых радикальных редукционистских программ науки прошедшего века. Она позволила понять, как “движения человеческой души” соотносятся с молекулярными сигналами в синапсах и геноме нервных клеток [9].

БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ КОНСОЛИДАЦИИ И ПОДДЕРЖАНИЯ ПАМЯТИ

Основополагающие экспериментальные исследования, критические для понимания того, как образуется память, выполнил Г. Эббингауз. Он разработал набор объективных методов для измерения памяти и обнаружил с их помощью в опытах на самом себе, что память человека имеет две фазы – кратковременную, в которой недолго хранится большой объём информации, и долговременную, в которой остаётся только её небольшая часть, хранящаяся длительное время. Два других немецких психолога, Г. Мюллер и А. Пильзекер, вскоре установили, что при переходе из кратковременной в долговременную память одновременно превращается из лабильной, легко нарушаемой, в устойчивую к повреждающим воздействиям. Для обозначения этого активного процесса стабилизации памяти в нервной системе ими был предложен термин “консолидация” памяти. Хотя гипотеза о консолидации была первоначально выдвинута для объяснения вербального обучения у человека, она оказала огромное влияние на весь последующий ход исследований нервных и молекулярных механизмов формирования памяти. Консолидация является общебиологическим свойством памяти человека и животных, этот феномен был обнаружен у самых разных животных – от беспозвоночных до млекопитающих, что перевело русло изучения механизмов формирования памяти из

психологии в экспериментальную биологию. Было установлено, что в областях мозга, связанных с соответствующим обучением, увеличивался синтез молекул РНК и белков, причём в тот же период, который в ходе психологических экспериментов был определён как критически важный для перехода кратковременной памяти в долговременную. Если образование РНК и белков подавлялось в это время, то долго временная память не формировалась [10]. Таким образом, оказалось, что консолидация долговременной памяти основана на механизмах активации экспрессии генов в клетках нервной системы. Как следствие этого открытия понятие долговременной памяти трансформировалось из условного обозначения продолжительности явления в концепцию специального нейробиологического механизма.

Первыми генами, активация которых была обнаружена нами [11] и группой Маттиса и Качмарека [12] в мозге при формировании памяти, оказались так называемые непосредственные ранние гены, такие как *c-fos*, *c-jun*. Позже были идентифицированы и дополнительные ранние гены, вовлечённые в консолидацию памяти, – *Krox-20*, *zif/286*, *NGFI-B*, *mKr2*, *Arg 3.1* и др. Продукты многих из них, хотя и не всех, являются ядерными белками, связывающимися с ДНК и регулирующими транскрипцию других генов. Воздействие экстраклеточных сигналов на экспрессию этих генов осуществляется посредством вторичных мессенджеров, активирующих различные протеинкиназы, такие как протеинкиназа А, СаМ-киназа, MAPK-киназа и др. Активированные протеинкиназы перемещаются из цитоплазмы в ядро нейрона и фосфорилируют конститутивные транскрипционные факторы, такие как CREB (calcium response element binding protein), которые и взаимодействуют далее с промоторами ранних генов, стимулируя их экспрессию (рис. 1) [13]. Весь этот процесс распространения сигналов от синапса к ядру обучающегося нейрона происходит очень быстро, и через минуты после воздействия первые мРНК и белки, кодируемые ранними генами, уже могут быть детектированы в цитоплазме клетки.

Транскрипционные факторы, кодируемые “ранними” генами, инициируют “вторую волну” синтеза белка, которая начинается через несколько часов после эпизода нового опыта. При этом сами гены транскрипционных факторов, такие как *c-fos* и *c-jun*, во время второй фазы синтеза РНК не экспрессируются. Гены, экспрессия которых находится под контролем индуцируемых транскрипционных факторов, были названы “поздними” или “эффекторными” генами. К числу “поздних” относятся гены препроэнкефалина, S100, нейрофиламентов, тирозингидроксилазы, NCAM и многие другие.

В число “непосредственных ранних генов”, активирующихся при обучении, входят не только гены, кодирующие транскрипционные факторы. Часть из них кодирует эффекторные белки, способные сразу изменять свойства обучающегося нейрона. В эту категорию входят факторы, регулирующие рост клеток (*BDNF*, *Narp*), белки внутриклеточной сигнализации (*RheB*, *RGS-2*, *Homer 1a*), белки синаптических модификаций, других структурных изменений нейрона (*Arc*, *TPA*) или регуляторов метаболизма (*COX-2*) [14]. Общее же число генов, индуцируемых в нервной системе при формировании памяти, по некоторым оценкам, может достигать нескольких сотен [15].

Интересно, что двухфазный механизм регуляции транскрипции с участием “ранних” регуляторных и “поздних” эффекторных генов является одним

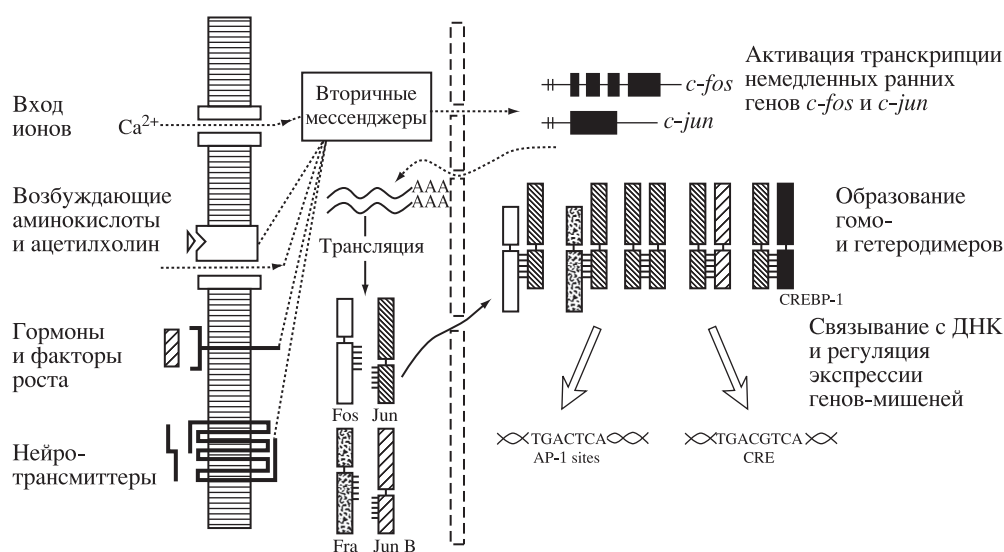


Рис. 1. Двухфазная регуляция транскрипции генов в клетке с помощью продуктов “ранних генов”

Внеклеточные стимулы (гормоны, факторы роста, нейромедиаторы) могут вызвать активацию транскрипции “ранних генов”, включая гены *c-fos* и *c-jun*. Воздействие экстраклеточных сигналов на промоторы этих генов осуществляется посредством вторичных мессенджеров. Fos, Jun и ряд других белков этого семейства синтезируются в цитоплазме и быстро транспортируются в ядро, где могут образовывать гетеро- и гомодимерные комплексы. Эти комплексы обладают специфической ДНК-связывающей активностью и способны изменять транскрипцию других генов-мишеней (“поздних” генов)

из наиболее древних механизмов биологической регуляции – он обнаруживается ещё у одноклеточных эукариот. У многоклеточных организмов аналогичные каскады сигнализации участвуют в процессах клеточного роста и дифференцировки. Таким образом, основные компоненты и этапы молекулярных каскадов модификации фенотипа клеток при обучении и их дифференцировки в развитии оказываются чрезвычайно сходными (рис. 2) [16]. Это означает, что каждый очередной эпизод психологического опыта является дополнительным всплеском морфогенеза в мозге, развитие которого никогда не прекращается, подтверждая давние предположения, что “рост и обучение представляют собой непрерывный процесс, ранним стадиям которого мы даём одно имя, а поздним – другое” [17].

Открытие фундаментального сходства процессов развития и обучения на молекулярном уровне ставит сегодня новые важные вопросы. Если молекулярные каскады создавались эволюцией в одном функциональном домене, то каким образом осуществлялся захват, перенос этих блоков в другой домен? Всегда ли этот процесс шёл в одном направлении – от развития к обучению или протеинкиназы существовали и эволюционные переходы в обратном направлении? Особые периоды в жизни организма, получившие название “критических” и “чувствительных” периодов развития поведения, по-видимому, содержат ответ на эти вопросы. Есть основания полагать, что в них не только вступают во взаимодействие индивидуальный опыт и врождённое поведение, они также являются зоной важнейших эволюционных переходов между этими двумя доменами.

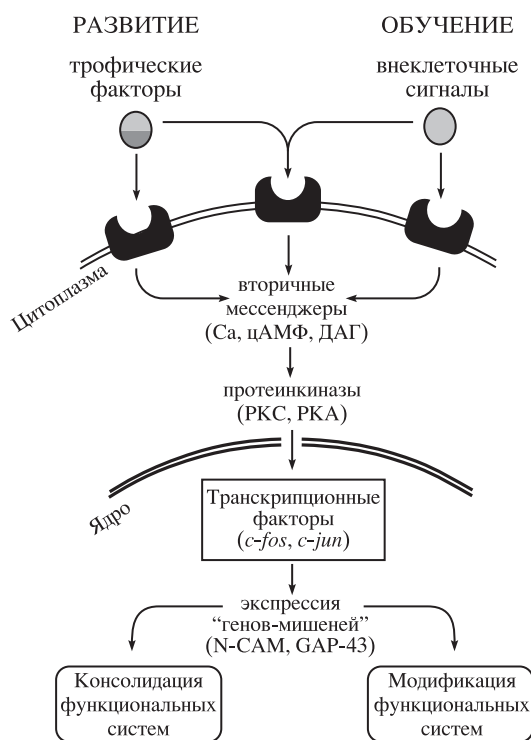


Рис. 2. Общность молекулярных механизмов регуляции экспрессии генов при развитии нервной системы и обучения

Вместе с тем регуляция активности генов при обучении имеет одно чрезвычайно важное отличие от сходных процессов в развитии. Вызовет или нет какая-либо поведенческая ситуация экспрессию “непосредственных ранних генов” в клетках мозга, критическим образом зависит от прошлого индивидуального опыта животного и определяется субъективной новизной данного события [18]. Это значит, что во время обучения экспрессия генов в мозге находится под когнитивным контролем, переходя из-под влияния только локальных клеточных и молекулярных взаимодействий под контроль более высокого порядка – общемозговых

систем, составляющих индивидуальный опыт организма. Реальные механизмы такого нисходящего (top-down) контроля составляют сегодня одну из актуальных проблем когнитивной нейробиологии памяти [19].

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ И РЕКОНСОЛИДАЦИЯ ПАМЯТИ

К концу XX в. представления о биологических механизмах формирования и поддержания памяти выглядели приблизительно следующим образом [20]. Было ясно, что новый психологический опыт служит толчком к инициации процессов локального роста и развития в нейронах головного мозга. Следствием этого является консолидация памяти – прогрессивная стабилизация следа памяти в мозге после его приобретения. Консолидация памяти проходит ряд стадий, наиболее критической из которых является реорганизация работы генома нервных клеток. Данный процесс опосредуется через двухфазный механизм регуляции экспрессии “ранних” и “поздних” генов. После этого память переходит в долговременную форму. Её главными характеристиками являются необратимость и стабильность. Иными словами, консолидация для эпизода памяти происходит лишь единожды, и после неё он становится перманентно закреплённым и нечувствительным к амнестическим воздействиям, таким, например, как ингибиторы синтеза белка.

Эта, ставшая уже учебной, картина претерпела существенную ревизию в последние годы. Было неожиданно обнаружено, что в моменты извлечения старой долговременной памяти в нервных клетках вновь активируются

процессы экспрессии генов и синтеза белка [21, 22]. Более того, если им в этот момент воспрепятствовать, то давно уже консолидированную память можно нарушить, сделав невозможным последующее воспроизведение данного воспоминания. Этот не укладывающийся в рамки традиционных представлений феномен, исследуемый в настоящее время во многих лабораториях, получил название “реконсолидации памяти” [23]. Он свидетельствует, что после реактивации след памяти способен претерпевать преобразования, сходные с клеточными и молекулярными механизмами консолидации. Их функцией, по-видимому, является обновление исходного воспоминания вплоть до его полной замены.

Реконсолидация памяти, как и её консолидация, представляет собой универсальное биологическое свойство памяти, свойственное не только человеку, но и всем к настоящему моменту исследованным животным – млекопитающим, птицам, рыбам, ракообразным, насекомым, моллюскам, червям [24]. Клеточные и молекулярные механизмы реконсолидации похожи, но не идентичны с механизмами первоначальной консолидации памяти [25]. Например, по некоторым данным, для реконсолидации необходим лишь синтез белка в нейронах, тогда как для консолидации требуется синтез и белка, и мРНК. Могут отличаться и требования к клеточной локализации синтеза белка – необходимость транспорта белков из цитоплазмы по дендритам нейронов для консолидации и достаточности локального синтеза белка на полирибосомах в области синапсов нейрона для реконсолидации памяти.

Кроме того, реконсолидация памяти имеет ещё целый ряд необычных свойств, получивших название “пограничных условий”. Они состоят в том, что если механизмы консолидации лежат в основе практически всех исследованных случаев формирования долговременной памяти, то реконсолидация происходит далеко не при каждом извлечении памяти. Условия, делающие старую, давно консолидированную память вновь лабильной в момент её извлечения, сегодня ещё малопонятны, но активно исследуются. Одним из них, по-видимому, является фактор новизны – отличия в ситуации извлечения от запоминания вызывают реконсолидацию памяти. Другим служит возраст памяти: чем более давней она является, тем ниже вероятность её реконсолидации и тем более она устойчива к амнестическим воздействиям в момент её реактивации.

Следует сказать, что “неожиданным” открытие реконсолидации можно назвать лишь из-за сохраняющегося разрыва между исследованиями биологии и психологии памяти. Исследователям памяти человека давно заметно её свойство трансформироваться во время извлечений. Ещё в конце XIX в. З. Фрейд писал своему другу Флиссу: “Как ты знаешь, я работаю над предположением, что содержимое следов памяти подвергается время от времени реорганизации под влиянием свежих обстоятельств – ретранскрипции. Принципиально новым в моей теории является тезис, что память закладывается не единойжды, а на протяжении ряда эпизодов её востребования”. Другой выдающийся психолог начала XX в. Ф. Бартлетт завершает свою знаменитую монографию о процессах воспроизведения памяти заключением: «Описание воспоминаний как “фиксированных и безжизненных” есть всего лишь ошибочная фантазия. Воспоминание не является повторным возбуждением неисчислимых фиксированных фрагментарных следов. Оно есть всегда

творческое воссоздание или конструирование, складывающееся из нашего отношения ко всей активной массе реакций и опыта прошлого» [26].

Изучение механизмов реконсолидации памяти может помочь устранить следы такой диссоциации нейробиологии и когнитивной психологии памяти [27]. Оно может также способствовать установлению связей между исследованиями памяти и сознания. Основанием для этого являются факты, указывающие на то, что осознание возникает вследствие информационного синтеза материала сенсорной информации с материалом, извлекаемым из памяти [28]. Одним из назначений такого “повторного входа” (reentry) является как раз обновление материала памяти. Как результат, при осознании происходит рекатегоризация и реконсолидация памяти, тесно увязывающая сознание и память в единый комплекс “вспоминаемого настоящего” [4]. Если это так, то с помощью изучения процессов реконсолидации можно перенести часть экспериментальных преимуществ исследований памяти на исследование нейробиологических механизмов сознания.

За последние 200 лет проблема памяти и субъективного опыта последовательно занимала центральное место в трёх дисциплинах: вначале философии, потом психологии и, наконец, биологии мозга. Биологические исследования памяти, развернувшиеся во второй половине XX в., сменили чисто описательные подходы на изучение внутренних механизмов формирования, хранения и извлечения памяти в мозге. Сегодня наука о памяти имеет возможности встать на обратный путь – от биологии к психологии, философии и социологии памяти, отвечая, таким образом, на воззвание Гёте: “Столетие, исключительно отдающееся анализу... не стоит на правильном пути; ибо в сущности аналитик ведёт своё дело собственно для того, чтобы, в конце концов, опять достигнуть синтеза”.

Литература

1. Ginsburg S., Jablonka E. The transition to experiencing: The evolution of associative learning based on feeling // *Biological Theory*. 2007. V. 2. P. 231–243.
2. Rensing L., Koch M., Becker A. A comparative approach to the principal mechanisms of different memory systems // *Naturwissenschaften*. 2009. V. 96. P. 1373–1384.
3. Хальбвакс М. Социальные рамки памяти. М.: Новое издательство, 2007.
4. Edelman G. Remembered Present. A biological theory of consciousness. N.Y.: Basic Books, 1989.
5. Tulving E. Episodic memory: from mind to brain // *Annual Rev. Psychol.* 2002. V. 53.
6. Поуз С. Устройство памяти. От молекул к сознанию. М.: Мир, 1995.
7. Декарт Р. Избранные произведения. М.: ГИПЛ, 1950. С. 616.
8. Hacking I. Rewriting the soul. Multiple Personality and the science of memory. Princeton: Princeton University Press, 1995.
9. Kandel E.R. The molecular biology of memory storage: a dialogue between genes and synapses // *Science*. 2001. V. 294. P. 1030–1038.
10. Glassman E. The biochemistry of learning: An evaluation of the role of RNA and protei // *Annual Rev. of Biochem.* 1969. V. 38. P. 605–646.
11. Малеева Н.Е., Иволгина Г.Л., Анохин К.В. и др. Анализ экспрессии протоонкогена *c-fos* в коре головного мозга крыс при обучении // *Генетика*. 1989. Т. 25. С. 1119–1121.
12. Tischmeyer W., Kaczmarek L., Strauss R. et al. Accumulation of *cfos* mRNA in rat hippocampus after acquisition of a brightness discrimination // *Behav. Neural. Biol.* 1990. V. 54. P. 165–174.
13. Alberini C.M. Transcription factors in long-term memory and synaptic plasticity // *Physiol. Rev.* 2009. V. 89. P. 121–145.

14. Flavell S.W., Greenberg M.E. Signaling mechanisms linking neuronal activity to gene expression and plasticity of the nervous system // *Annual Rev. Neurosci.* 2008. V. 31. P. 563–590.
15. Pfenning A., Schwartz R., Barth A. A comparative genomics approach to identifying the plasticity transcriptome // *BMC Neurosci.* 2007. V. 8. P. 20–38.
16. Анохин К.В. Молекулярные сценарии консолидации долговременной памяти // *Журн. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова.* 1997. Т. 47. С. 262–286.
17. Holt E.D. Animal drive and the learning process. N.Y.: Holt, 1931. P. 7.
18. Анохин К.В., Судаков К.В. Системная организация поведения: новизна как ведущий фактор экспрессии ранних генов в мозге при обучении // *Успехи физиол. наук.* 1993. Т. 24. С. 53–70.
19. Silva A.J., Zhou Y., Rogerson T. et al. Molecular and cellular approaches to memory allocation in neural circuits // *Science.* 2009. V. 326. P. 391–395.
20. Albright T.D., Jessell T.M., Kandel E.R., Posner M.I. Neural science: a century of progress and the mysteries that remain // *Cell.* 2000. V. 100. P. 1–55.
21. Лутвин О.О., Анохин К.В. Механизмы реорганизации памяти при извлечении приобретённого поведенческого опыта у цыплят: эффекты блокады синтеза белка в мозге // *Журн. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова.* 1999. Т. 49. С. 554–565.
22. Nader K., Schafe G.E., Le Doux J.E. Fear memories require protein synthesis in the amygdala for reconsolidation after retrieval // *Nature.* 2000. V. 406. P. 722–726.
23. Sara S.J. Retrieval and reconsolidation: toward a neurobiology of remembering // *Learning and Memory.* 2000. V. 7. P. 73–84.
24. Nader K., Hardt O. A single standard for memory: the case for reconsolidation // *Nature Rev. Neurosci.* 2009. V. 10. P. 224–234.
25. Tronson N.C., Taylor J.R. Molecular mechanisms of memory reconsolidation // *Nature Rev. Neurosci.* 2007. V. 8. P. 262–275.
26. Bartlett F.C. Remembering. Cambridge: Cambridge University Press, 1932. P. 311.
27. Hardt O., Einarsson E.O., Nader K. A bridge over troubled water: reconsolidation as a link between cognitive and neuroscientific memory research traditions // *Annual Rev. Psychol.* 2010. V. 61. P. 141–167.
28. Иваницкий А.М. Естественные науки и проблема сознания // *Вестник РАН.* 2004. Т. 74. С. 716–723.

МОЗГ И ЯЗЫК: ВРОЖДЁННЫЕ МОДУЛИ ИЛИ ОБУЧАЮЩАЯСЯ СЕТЬ?*

*Доктор биологических наук
Т.В. Черниговская*

Человеческий язык – видоспецифичная вычислительная способность мозга, дающая возможность не только выстраивать сложные коммуникационные сигналы, но и обеспечивать мышление. Язык характеризуется системой базисных универсальных правил, обусловленных, по всей видимости, свойствами самого мозга.

Механизмы, обеспечивающие язык и другие высшие функции, рассматриваются в рамках то локализионистской, то холистической моделей. Несмотря на огромный материал, накопленный благодаря клиническим данным, функциональному картированию мозга и другим экспериментальным методам, парадигмы продолжают сосуществовать или чередоваться. Основные дискуссии проходят между сторонниками идеи модульной языковой способ-

* Исследование поддержано РФФИ (гранты 09-06-11504-с, 09-06-12022-ofi_m).

ности человека, базирующейся на лежащей в основе всех языков Земли врождённой универсальной грамматике, и приверженцами коннекционистской модели, когда основой развития языка является обучение нейронной сети. Эти дискуссии проверяются экспериментально на разных моделях в крупнейших научных коллективах мира.

Развитию представлений о высших психических функциях человека посвящены основополагающие труды таких виднейших отечественных учёных, как И.М. Сеченов, И.П. Павлов, А.А. Ухтомский, В.М. Бехтерев, Л.С. Выготский, П.К. Анохин, А.Н. Леонтьев, А.Р. Лурия. Идеи построения интегрального знания о человеке Ухтомского, согласно которым разобщение функций – абстракция, вполне могут определить научное и философское пространство XXI в.

Мысль о необходимости разграничения языка как системы и речи как конкретного пространственно-временного процесса впоследствии стала основой экспериментальных исследований. Это осознавали крупнейшие лингвисты В. Гумбольдт, Ф. де Соссюр, А.А. Потебня, И.А. Бодуэн де Куртене, А.М. Пешковский, Н.С. Трубецкой, М.М. Бахтин, Л.В. Щерба, Р.О. Якобсон.

Эволюция сделала рывок или серию более мелких “шагов”, что привело к обретению мозгом способности к цифровому вычислению, использованию рекурсивных правил и ментальных репрезентаций, созданию основы для мышления и языка в человеческом смысле. Мы сталкиваемся с оппозицией школ, сводимой к схеме детерминизм/врождённость языка против “хаоса”, или модели научения.

Особая организация мозга, его церебральная специализация, характерная именно для человека как вида, – нейрональная основа мощного и стремительного культурного развития человечества, быстрота которого несопоставима с обычным ходом биологических эволюционных часов. Это обеспечило человеку неоспоримые когнитивные и адаптационные преимущества перед прочими видами.

Почему исследование языка, сознания и обеспечивающих их мозговых механизмов так важно? Потому что мы познаём мир так, как это может наш мозг. Мир для нас таков, каким мы способны его воспринять, классифицировать и описать. Наша зависимость от мозга больше, чем мы привыкли думать. “Нет субъекта без объекта, как нет объекта без субъекта”, – провидчески, задолго до открытий квантовой механики, сформулировал великий русский физиолог А.А. Ухтомский. А гораздо раньше того, как экспериментальная наука получила методы регистрации мозговой активности во время галлюцинаций, показавшие большое сходство (если не идентичность) биоэлектрической активности при обработке реальных сенсорных сигналов и псевдосигналов, гениальный И.М. Сеченов писал: “Нет никакой разницы в процессах, обеспечивающих в мозгу реальные события, их последствия или воспоминания о них”.

Удовлетворительной теории механизмов мозга у нас нет. Однако общеизвестно, что сама организация эксперимента, не говоря о его трактовке, зависит от научной парадигмы, в которой работает учёный. Между тем ясно, что исследование работы мозга – сложнейшего из известных нам объектов и сложнейшего из объектов, с которым работает сам мозг, – языка, бесспорно, является и будет являться одним из приоритетных направлений челове-

ческого познания. Не вызывает также сомнений, что в этот процесс вносят вклад представители многих наук – от молекулярной биологии, генетики, нейрофизиологии и биохимии до антропологии, искусственного интеллекта, нейролингвистики и аналитической философии. Будучи физиологом, психологом и лингвистом, я считаю продуктивным говорить сегодня в большей мере как лингвист, потому что иные аспекты хорошо представлены в других докладах.

Человеческий язык является лучшим средством противостоять сенсорному хаосу, который атакует нас каждую миллисекунду: именно язык обеспечивает номинацию ментальных репрезентаций сенсорного опыта и, таким образом, “объективизирует” индивидуальные впечатления, благодаря чему становится возможным описание мира и коммуникация. Именно язык, будучи культурным феноменом, базирующимся на генетически обусловленных алгоритмах, соединяет объекты внешнего мира с нейрофизиологическими событиями в мозгу, используя конвенциональные семиотические механизмы

Язык – не просто одна из высших психических функций, а совершенно особая, видоспецифичная способность мозга, дающая возможность строить и организовывать чрезвычайно сложные коммуникационные сигналы и обеспечивать мышление – формирование концептов и гипотез о характере, структуре и законах мира.

Языковая способность – это система базисных универсальных правил, предположительно лежащих в основе всех человеческих языков, возможно, врождённое свойство нашего мозга, обеспечивающее *речевую деятельность*. Можно говорить о “слоях”, составляющих язык: это *лексикон* – сложно и по разным принципам организованные списки лексем, словоформ и т.д; *вычислительные процедуры*, обеспечивающие грамматику (морфологию, синтаксис, семантику и фонологию), механизмы членения речевого континуума, поступающего извне, и прагматика.

Человек обладает способностью к аналогии, поиску сходства, а значит, к объединению индивидуальных черт и феноменов в классы, что даёт возможность построения гипотез об устройстве мира. На этом пути чрезвычайно роль играют так называемые концепты-примитивы, которые, по мнению ряда крупных представителей когнитивной науки, являются врождёнными и проявляются у детей очень рано, а не приобретаются в результате научения. Считается, что концепты организованы иерархически и, следовательно, представляют собой систему, которая, возможно, генетически заложена в мозгу человека, где есть также механизм генератора новых концептов, обеспечивающий возможность формулирования гипотез.

Основатели отечественной нейролингвистики Р.О. Якобсон, Л.С. Выготский и А.Р. Лурия предприняли попытку систематического описания локализации и свойств высших психических функций, включая язык. На этом базируются теоретические разработки и клинические тесты, и это один из примеров, когда вклад российской науки в мировую бесспорен и общеизвестен. Идеи и открытия Н.П. Бехтеревой и её сотрудников (мягкие и жёсткие связи мозга, детектор ошибок, начало работ по изучению механизмов творчества) являются важнейшими вехами в современной науке о мозге и его высших функциях. В нейролингвистических исследованиях, проверяющих

непротиворечивость выдвигаемых гипотез, языковые процессы картируют и, по возможности, локализуют. Такие исследования проводятся и в Петербургском государственном университете в сотрудничестве с Институтом мозга человека РАН и другими клиническими центрами.

П.К. Анохин и Д. Хебб предложили модели, примиряющие локализационистский и холистический взгляды на мозговое обеспечение высших когнитивных функций, хорошо описывающие распределение по мозгу языковых процедур: клеточные ансамбли вполне определённой топографии могут организовываться в нейробиологические объединения для формирования когнитивных единиц типа слов или гештальтов иного рода, например зрительных образов. Такой взгляд кардинально отличается от локализационистского подхода, так как подразумевает, что нейроны из разных областей коры могут быть одновременно объединены в единый функциональный блок. Он отличается и от холистического подхода, так как отрицает распределение всех функций по всему мозгу, но подчеркивает принципиальную динамичность механизма, постоянную переорганизацию всего паттерна в зависимости от когнитивной задачи. Это значит, что мы имеем дело с тонко настраивающимся оркестром, местоположение дирижёра которого неизвестно и нестабильно, а возможно, и не заполнено вообще, так как оркестр самоорганизуется с учётом множества факторов и настраивается на доминанту.

Языки людей устроены не так, как коммуникационные системы других биологических видов: коммуникация животных представляет собой закрытые списки единиц, а человеческий язык – открытый список (за исключением грамматических слов), и главная его черта – продуктивность, то есть возможность создания и понимания бесконечного количества сигналов любой длины из конечного набора первичных единиц (“атомов” – фонем). Язык представляет собой иерархическую структуру с цифровой организацией (фонемы, морфемы, слова, фразы, тексты) и использует рекурсивные правила (с алгоритмом типа *Маша удивилась, что Петя не знает, что Нина лгала Саше*). Синтаксис и морфология кодируют многоуровневые семантические структуры, превращая их в последовательно организованные интерфейсы (наш язык линейен!). Фонология обеспечивает возможность реорганизации конечного числа звуковых единиц в бесконечное множество единиц другого уровня – слов. Фонетические законы позволяют мозгу компрессировать эти единицы в акустические сигналы, спектральные и временные характеристики которых способны декодировать человеческое ухо.

Люди – единственные существа, обладающие сознанием и способностью к рефлексии и таким образом создающие семиосферу особого характера, как писал крупнейший отечественный филолог и семиотик Ю.М. Лотман. Такая уникальность серьёзно обсуждается последние годы и даже подвергается сомнению главным образом потому, что мы не имеем ясного представления о том, что именно считать сознанием. Важно и то, что большая часть когнитивной деятельности происходит не индивидуально, а координированно с другими людьми, и, стало быть, сознание, как бы его ни понимать, может рассматриваться как распределённый между индивидуумами процесс.

Непосредственное отношение к этому имеет открытие Риззолатти и Арbibом зеркальных нейронов и вообще так называемых зеркальных систем, что даёт совершенно новые подтверждения принципиальной важности ими-

тации и даже самого факта фиксации действий другого в нервной системе для когнитивного развития в фило- и онтогенезе и даже для возникновения языка и рефлексии как основ сознания человека. Зеркальные нейроны обнаружены в префронтальной моторной коре макака: было показано, что эти системы картируют внешнюю информацию – действия, совершаемые другим существом, не обязательно того же вида, но с понятной системой координат и интерпретируемым поведением. Зеркальные нейроны реагируют только на определённое действие, когда субъект делает что-то сам, когда видит это действие или слышит о нём. Зеркальные системы есть практически во всех отделах мозга человека и активируются при предвидении действия, сопереживании эмоций или воспоминании о них. Это показывает, на основе чего развился мозг, готовый для функционирования языка и построения моделей сознания других людей – представления о состоянии “другого” и планирования действий с учётом этого. Способность к экстраполяции и к синтаксическим процедурам, её оформляющим, требует хорошо развитой оперативной и долговременной памяти и мощного мозга.

Функциональное картирование показывает, что активированными в этом случае оказываются левая медиальная префронтальная кора, орбито-фронтальная кора и левая височная кора, из других структур указывают также поясную борозду, заднюю часть поясной извилины, височно-теменную область и префронтальную кору. Именно эти структуры оказываются нарушенными при шизофрении. В качестве нейрональной основы аутизма, при котором также грубо нарушены социальные навыки, были описаны амигдала, или миндалевидное тело, орбито-фронтальная кора и верхняя височная борозда. Искажение мышления при аутизме вызывается дисфункцией медиальных префронтально-париетальных нейрональных систем, выражающейся в невозможности эффективно модулировать нейронные связи в экстрастриарной зрительной коре и височных долях. Повреждение орбито-фронтального кортекса приводит к нарушениям, встречающимся при шизофрении – амбивалентности, импульсивности, отсутствию интереса к действиям других людей и возможности учёта этого в выстраивании собственных поступков, стереотипному и неадекватному поведению. Всё это может протекать на фоне интактных интеллектуальных возможностей другого рода, в том числе и высокого уровня. Неудивительно, что исследование функций мозга у больных шизофренией методом функционального картирования показало значительное снижение активности амигдалы слева и гиппокампа билатерально.

Уникальность человека – в чём она? Есть ли специфичные для нашего вида гены? Есть ли ген языка? Мышления? Памяти?

Говоря об антропогенезе и развитии высших когнитивных функций и языка, нельзя обойти дискуссию, уже не первый год публикующуюся в биопсихологической, нейролингвистической и медицинской литературе – поиски так называемого языкового гена, или гена грамматики. Исследования семей с языковыми нарушениями, отмеченными в разных поколениях, дали основания считать, что аномалии локализуются в определённом участке 7-й хромосомы, содержащем около 70 генов. Зона поиска постепенно сужалась и в итоге привела к идентификации гена *FOXP2*. Недавно (в 2009 г.) был верифицирован ген *KIAA0319*, имеющий прямое отношение к дислексии. Данные, полученные на 322 пациентах с диагнозом “специфические языковые

расстройства”, указывают на нарушения в хромосомах *1p36*, *3p12-q13*, *6p22* и *15q2*. Это свидетельствует о бесспорности генетических основ языка, но ни в коей мере не говорит о том, что найден *ген языка* (что, по моему мнению, не произойдёт никогда, поскольку трудно представить себе, что один ген может кодировать такую сложную функцию).

Мозг человека – самое сложное, с чем мы сталкиваемся: количество нейронных связей в этой сети превышает число звёзд во Вселенной – более одного квадриллиона синапсов. Современный компьютер способен выполнить отдельную команду меньше чем за наносекунду, тогда как нейроны действуют в миллионы раз медленнее, но мозг сторицей восполняет это, так как совершает множество параллельных процессов, и оказывается, что, несмотря на гигантское преимущество компьютеров в физической скорости переключения, мозг выполняет все свои действия гораздо эффективнее.

Нейролингвистические исследования, несомненно, имеют особый статус не только в рамках когнитивных и нейронаук, но и в современной науке о языке и мышлении, позволяя проверить положения самой лингвистики экспериментальными методами: при изучении становления языка у детей с нормальным и патологическим речевым развитием (алалиями и генетическими аномалиями развития языка, с дислексией и дисграфией), распада языковой системы и других высших функций у больных с афазиями и иными нарушениями мозга (болезни Альцгеймера, Паркинсона, шизофрении, синдром Уильямса и др.). Очень интересны кросслингвальные исследования сходных синдромов у людей, говорящих на языках разных типов, что даёт ценнейший материал как для нейронаук, так и для лингвистики. Для проведения таких работ используются методы экспериментальной психологии, такие, например, как методики прайминга, принятия лексического решения, фиксации движений глаз, парсинга.

Используя вышеобозначенные объекты и методы, мы можем ставить перед собой очень сложную задачу – попытаться понять, как именно устроены ментальный лексикон и обеспечивающие язык правила разного ранга. Основные проверяемые модели таковы.

Сторонники классического модулярного подхода, например Прасада, Пинкер и Ульман, считают, что правила *универсальной грамматики*, по которым построены все человеческие языки, описывают организацию языковых процедур как: (а) символические рекурсивные правила, действующие в режиме реального времени и базирующиеся на процедурах и врождённых механизмах, запускаемых в оперативной памяти, и (б) лексические и другие гештальтно представленные единицы, извлекаемые из долговременной ассоциативной памяти.

Сторонники коннекционистского подхода, например Байби, Планкетт и Марчман, считают, что все процессы основываются на работе ассоциативной памяти и мы имеем дело с постоянной сложной перестройкой всей нейронной сети, также происходящей по правилам, но иным и гораздо более трудно формализуемым.

Возможны и не совпадающие ни с одним из этих подходов гипотезы. Наши данные, полученные при обследовании детей с нормальным речевым развитием и с его патологией, пациентов с афазиями, болезнью Альцгеймера и шизофренией, противоречат модулярному подходу, удовлетворительно

описывающему аналогичный материал на примере более “простых” языков. Сходные с нашими результаты получены и для ряда других морфологически развитых языков, что подчёркивает необходимость продолжения кросс-лингвальных исследований, а на этом этапе всё же склоняет нас к предпочтению коннекционистской позиции.

Экспериментально исследуют и процедуры, связанные с обработкой синтаксиса, для чего также существуют свои подходы и несколько моделей, например *модель заблуждений* и *модель ограничений*. Согласно *модели заблуждений*, синтаксический анализ предшествует семантическому и дискурсивному, и мозг в первую очередь выбирает максимально простую структуру и лишь затем, встретив синтаксически неоднозначное слово, свидетельствующее о том, что интерпретация может быть неверна, возвращается в исходную точку и формирует иную, более сложную интерпретацию. В *модели ограничений* предполагается, что при анализе предложения во внимание принимается сразу вся информация, в частности, все хранящиеся в ментальном лексиконе сведения о каждом слове: его значения, грамматические характеристики, синтаксические структуры, в которых оно встречается, и т.д. Существует и смешанная теория: в ней соединены положения *модели заблуждений* и *модели ограничений*, но действуют они не последовательно, а одновременно.

Ко всем этим моделям обращаются при анализе сложных или неоднозначных синтаксических структур. Эксперименты проводятся с использованием, например, методики регистрации движений глаз, поскольку она позволяет изучать когнитивные процессы, протекающие при чтении, в режиме реального времени.

Интересным направлением является проверка *гипотезы когорты*, согласно которой текст анализируется только в той степени, которая необходима, чтобы активировать ожидаемую информацию, что затем послужит основой для понимания, а слова распознаются ещё до того, как прозвучат или появятся полностью. Первые слоги определяют когорту потенциальных кандидатов, расположенных в ментальном лексиконе. С добавлением информации число потенциальных кандидатов резко сокращается до тех пор, пока не останется только один. На этом, в частности, основана работа синхронных переводчиков, использующих *антиципацию* – способность производить высказывание на другом языке до того, как оратор завершит своё высказывание. В основе антиципации лежит непрерывное и синхронное взаимодействие между текстуальной, постоянно поступающей и энциклопедической информацией из долговременной памяти. Одним из способов исследования являются варианты экспериментальной методики принятия лексического решения.

Как известно, за организацию адекватной работы всего мозга и, в частности, за процедуры вероятностного прогнозирования отвечают лобные доли коры, несформированность функций которых наблюдается у детей, а распад – у больных с шизофренией или с другими лобными патологиями. Нарушение этих механизмов проявляется на разных уровнях обработки речи – от лексики и даже фонетики до текста.

Встаёт вопрос, можно ли моделировать и тем самым проверять механизмы высших психических функций? Попыток таких делается немало, иногда вполне успешных, но крупнейший математик и космолог Р. Пенроуз, многие

годы пристально занимающийся проблемой сознания, утверждает, что это сделать успешно невозможно, так как не всё в мозгу – вычисления. Вопрос не в том, что это выходит за рамки существующих или воображимых компьютеров или имеющихся сейчас вычислительных методов. Интеллект, справедливо утверждает Пенроуз, требует “понимания”, а “понимание” требует “осознания”. А что это такое и, тем более, как это происходит формально, – мы не знаем. Совершенно очевидно, что нам нужна новая теория.

Предлагается, например, объяснять сознание квантовыми аномалиями; говорится о том, что квантовые законы, возможно, могут быть применимы и к макромиру. Предлагается перейти к квантовой когнитивной науке, что может разорвать порочный круг редукционизма и дуализма, поскольку нельзя заниматься сознанием, не имея полного представления о “веществе” мира, ибо загадки сознания неразрывны с представлениями о материи и в физическую картину мира оно никак не вписывается.

Наше мышление и память организованы парадоксально, и это остро чувствуют поэты, художники и мыслители. Недаром Кант писал: “...у человека обширнее всего сфера смутных представлений”. Великий Гоголь в “Ревизоре” показал нам инвертированную логику, от которой у математика должно “прерваться дыхание”: “А у меня глаза разве не тёмные? Самые тёмные... Как же не тёмные, когда я и гадаю про себя всегда на трефовую даму”.

В заключение я хотела бы подчеркнуть, что результаты обозначенных направлений имеют не только серьёзное фундаментальное значение, но и практическую пользу для прикладных областей – в первую очередь для медицины, педагогики, психологии и образования, для развития новых систем искусственного интеллекта. Бесспорна антропологическая, мировоззренческая роль этой области знаний: мы хотим понять, кто мы... Совершенно ясно и то, что для такой сложной области нужны не только содружества учёных разных профилей, но специалисты multidisciplinary типа и их нужно готовить в лучших университетах.

ФИЛОСОФСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОБЛЕМЕ “МОЗГ И ПСИХИКА”

*Доктор философских наук
Д.И. Дубровский*

Загадка сознания остаётся главным узлом проблемы “мозг и психика”. Суть этой проблемы чётко выражена И.П. Павловым: “Каким образом материя мозга производит субъективное явление” [1, с. 247].

Сознание обладает специфическим и неотъемлемым качеством *субъективной реальности* (оно обозначается в философии также терминами “ментальное”, “феноменальное”, “интроспективное”, “квалиа”). Это уникальное Я каждого из нас, с его ощущениями, мыслями, чувствами, желаниями, волей. Именно объяснение данного качества составляет центральный, наиболее трудный пункт проблемы “сознание и мозг”, которая включает существенные философские предпосылки и аспекты, но остаётся научной по своему

содержанию, методам исследования и их результатам. Идеалистические и дуалистические концепции сознания вступают в противоречие с результатами этих исследований, подвергаются основательной критике со стороны материалистически ориентированных учёных и философов. В большой моде у нас всевозможные мистические и лженаучные трактовки сознания. К сожалению, они на ходят поддержку у представителей так называемой интеллектуальной элиты, что требует решительного противодействия.

Сейчас востребованы такие философские подходы к проблеме “сознание и мозг”, которые не ограничиваются метафизическими рассуждениями, а нацелены на решение основных теоретических и методологических вопросов этой проблемы, тесно связаны с развитием научного знания.

Проблема “сознание и мозг” вот уже более полувека находится в центре внимания западной аналитической философии, использование опыта которой в этой области весьма важно. Однако, обзревая и критически осмысливая обширную литературу за последние два десятилетия, в ней трудно обнаружить какие-либо значительные теоретические новации. В современной аналитической философии попрежнему преобладает редукционистский тип объяснения явлений сознания в двух его основных вариантах: физикалистском (когда явления сознания отождествляются с физическими процессами) и функционалистском (когда они отождествляются с функциональными отношениями, лишаясь своей специфики). Сравнительно немногочисленные противники редукционизма (Т. Нагель, Дж. Сёрл, Д. Чалмерс и др.), высказывая убедительные критические соображения, не дают основательного концептуального объяснения субъективной реальности.

Проблема “сознание и мозг” требует теоретически обоснованного ответа на два главных вопроса:

- если явлениям субъективной реальности нельзя приписывать физические свойства (массу, энергию, пространственные отношения), то как объяснить их связь с мозговыми процессами?
- если они не обладают физическими свойствами, то как объяснить их причинное действие на телесные процессы, которое очевидно?

Есть ещё и третий вопрос: о совместимости свободы воли и детерминизма мозговых процессов. Его решение зависит от первых двух.

Ответы на эти вопросы могут быть получены с позиций *информационного подхода*. Он основывается на двух принципах, не встречающих эмпирических опровержений:

- информация необходимо воплощена в своём физическом, материальном носителе, не существует вне и помимо него;
- информация инвариантна по отношению к физическим свойствам своего носителя, то есть одна и та же информация может иметь разные по своим физическим свойствам носители, кодироваться по-разному.

Суть информационного подхода состоит в следующем. Явления субъективной реальности рассматриваются в качестве информации (поскольку она допускает ценностно-смысловое, интенциональное описание). Например, я вижу дерево. Переживаемый мной образ дерева есть информация об этом предмете (обозначим её *A*). Носителем информации *A*, согласно данным нейронауки, является определённая мозговая нейродинамическая система (обозначим её *X*). При этом, конечно, *X* не является копией дерева. Это кодовая

структура (подобно тому, как слово “дерево” не является копией дерева, но способно давать представление об этом предмете). Однако я переживаю X субъективно в виде образа (особый вопрос, требующий объяснения!). Информация A дана мне в “чистом” виде в том смысле, что я совершенно не чувствую её “отягощённости” своим носителем, её связи с X (и вообще того, что происходит в моём мозгу). Я могу легко оперировать A , но не чувствую, что тем самым оперирую X . Об этом будет речь ниже.

Таким образом, явление субъективной реальности необходимо связано с мозговым процессом как информация со своим носителем. Это особый тип связи, требующий теоретического анализа. Связь между A и X носит функциональный характер; представляет собой кодовую зависимость, сложившуюся в филогенезе и онтогенезе; A и X – явления одновременные и однопричинные; они находятся в отношении взаимоднозначного соответствия; X есть кодовое воплощение A или код A .

Единый информационный процесс имеет два аспекта: ценностно-смысловой и физический. Основательное исследование связи A – X , структурной и функциональной организации систем типа X означает расшифровку мозгового кода данного психического явления, выяснение содержащейся в этом коде информации. Но что означает “расшифровка кода” (декодирование), если информация всегда существует только в кодовой форме и от неё невозможно избавиться? Лишь одно: преобразование “непонятного” кода в “понятный”. Для каждой самоорганизующейся системы существуют два типа кодов. Назовём их естественными и чуждыми. Первые сразу “понятны” системе, “прозрачны” для неё, несут “открытую” для неё информацию, “готовую” для управления (например, слово “дерево” для знающего русский язык, в отличие от тех, кто его не знает).

Расшифровка кода (декодирование) требуется, когда система имеет дело с чуждым кодом. Но это означает лишь его преобразование, перекодирование в естественный код. После того как найден и закреплён способ такого преобразования, чуждый код становится для самоорганизующейся системы естественным, новым элементом её функциональной организации.

В живой системе существуют фундаментальные коды, например код ДНК, с которыми в процессе развития самоорганизации согласуются другие кодовые новообразования. Мозговой код типа X , который мы стремимся расшифровать, является для меня внутренним “естественным” кодом. Воплощённая в нём информация дана мне непосредственно, в “чистом” виде, в виде моих ощущений, образов, мыслей и т.п. Для другого же (исследователя мозга) X является внешним чуждым кодом. Чтобы получить информацию A , ему надо преобразовать X в какой-либо “естественный” для него код (изображение предмета, словесное описание и т.д.), в конечном итоге – в свой внутренний естественный мозговой код типа X . Это и происходит (в случае моей откровенности!) при обычных способах коммуникации (посредством речи и т.д.). Отметим в этой связи идею *аутоцереброскопа*, согласно которой я сам могу наблюдать и исследовать связь своих собственных психических и мозговых процессов. В современных условиях она может иметь определённую экспериментальную перспективу. Но и в этом случае, независимо от переживаемого мной A в “чистом виде”, я должен буду сделать то же, что и внешний наблюдатель, то есть получить A независимым способом.

Задача расшифровки мозговых кодов поставлена в науке вслед за расшифровкой генетического кода. Она состоит в том, чтобы путём анализа отводимых от мозга сигналов определить переживаемые человеком субъективные состояния. Эта задача во многом отличается от классических задач естествознания, так как включает коммуникативный и герменевтический аспекты (которые требуют опоры на категорию *понимания*). Здесь важно использовать опыт лингвистики и криптологии.

Как известно, Шампольон расшифровал древнеегипетскую иероглифику, имея Розеттский камень, ставший ключом к расшифровке кода. Наш выдающийся соотечественник Ю. Кнорозов расшифровал язык майя, не имея “Розеттского камня”. Такого “камня” нет и для расшифровки мозговых кодов. Но всегда может быть найдена некоторая метаинформация, которая таит в себе первичный ключ к расшифровке языков мозга. Требуется разработка специальных методологических подходов и теоретических вопросов, от которых зависят новые идеи и новые прорывы в расшифровке мозговых кодов. Один из насущных вопросов состоит в разработке феноменологии и систематики явлений субъективной реальности, форм их дискретизации и структурно-динамической упорядоченности, способов корректного расчленения континуума субъективной реальности по временному и “содержательному” параметрам (учитывая вместе с тем связь выделяемых фрагментов с диспозициональным и арефлексивным уровнями психических процессов). В этом состоит необходимое условие достаточно чёткого выделения *объекта расшифровки кода* и построения его первичной модели (по крайней мере, некоторые свойства и характеристики явлений типа *A* могут служить в качестве первичной модели для описания и анализа кодовых структур типа *X* [см. 2, с. 267–315]).

Перейдём к ответу на второй главный вопрос.

Явления субъективной реальности способны служить причиной телесных изменений в качестве информационной причины. Отличие информационной причины от физической причины определяется принципом инвариантности информации по отношению к физическим свойствам её носителя. Здесь причинный эффект вызывается именно информацией на основе сложившейся *кодовой зависимости*, а не самими по себе физическими свойствами носителя этой информации, которые могут быть разными. Наглядно это выступает в формировании условных рефлексов и особенно ярко – в языковой коммуникации. Важно подчеркнуть, что понятие информационной причинности не противоречит понятию физической причинности; оно расширяет теоретические средства объяснения, когда предметом исследования служат самоорганизующиеся системы (биологические, технические, социальные). Психическая причинность есть вид информационной причинности.

Здесь мы подходим к вопросу о *совместимости свободы воли с детерминизмом мозговых процессов*. В рамках доклада нет возможности анализировать проблему свободы воли. Поэтому остаётся сказать: тот, кто отрицает свободу воли, перечеркивает себя как личность, снимает с себя всякую ответственность, в том числе и за своё утверждение, что нет свободы воли.

Конечно, утверждение о существовании свободы воли надо брать в частном виде. Но этого вполне достаточно для её признания. Каждый из нас

уверен, что может по своему желанию, по своей воле совершать выбор действия, произвольно оперировать теми или иными представлениями, мыслями и т.д., хотя в составе субъективной реальности есть и такие классы явлений, которые *недоступны произвольному управлению* или поддаются ему с большим трудом (боль, эмоции и др.). Тем не менее наше Я может управлять собой в весьма широком диапазоне.

Но что такое наше Я с позиций нейронауки? Согласно современным исследованиям (А. Дамасио, Дж. Эделмен, Б. Либет и др.), наше Я представлено в мозге особой структурно-функциональной подсистемой, которую называют *Эго-системой головного мозга*. Она образует высший, личностный уровень мозговой самоорганизации и управления, включающий сознательно-бессознательный контур психических процессов. Именно на этом уровне совершаются те кодовые преобразования, которые представляют нашему Я информацию в “чистом” виде (то есть в качестве субъективной реальности) и обеспечивают активность Я в форме произвольных действий. Если я могу по своей воле оперировать своими мыслями, переходить от одной мысли к другой, то это означает, что я могу по своей воле оперировать их нейродинамическими носителями, управлять некоторым классом своих мозговых нейродинамических систем. Каждый, совершенно не замечая, всё время делает это (и часто – не лучшим образом).

Если способность управлять своими представлениями и мыслями есть способность управлять их мозговыми носителями, то это означает: 1) способность управлять энергетическим обеспечением этих операций, в том числе соответствующими биохимическими процессами; 2) способность изменять программы действий, следовательно, изменять их кодовые нейродинамические структуры; 3) способность расширять контуры психической регуляции (включая создание доступов к вегетативным функциям, как это умеют делать йоги, когда они, к примеру, произвольно изменяют свой сердечный ритм).

Такой подход позволяет глубже исследовать феномены “напряжения мысли”, “напряжения воли”, способы интенсификации творческого процесса, создания новых ресурсов психической саморегуляции, причём не только функциональной, но и нравственной. Другими словами, мы способны расширять диапазон возможностей управления собственной мозговой нейродинамикой (со всеми вытекающими из этого желательными для нас следствиями). Но способность управлять собственной мозговой нейродинамикой означает, что Эго-система головного мозга является самоорганизующейся системой. Следовательно, акт свободы воли (как в плане производимого выбора, так и в плане генерации внутреннего усилия для достижения цели) есть акт самодетерминации. Это показывает, что понятие детерминации должно браться не только в смысле внешней, но и в смысле внутренней детерминации, задаваемой программами мозга. Тем самым устраняется тезис о несовместимости понятий свободы воли и детерминизма мозговых процессов.

Эти вопросы имеют принципиальное значение для расшифровки мозговых кодов, поскольку последние представляют собой именно самоорганизующиеся системы (функциональные элементы Эго-системы мозга).

Исследования по расшифровке мозговых кодов интенсивно ведутся в десятках крупнейших научных центров за рубежом. В нейронауке оформ-

ляется новое направление, которое можно назвать нейрокриптологией. Эти исследования условно подразделяются на две группы. Одну из них называют “чтением мыслей”, вторую – “управлением силой мысли” (когда, например, парализованный человек с вживлённым чипом, представляя движение своей руки, управляет курсором компьютера).

Приведу несколько впечатляющих результатов. Ещё четыре года назад были созданы технологии нового детектора лжи, с помощью которого факт обмана регистрировался почти в 100% случаев. Более того, детектор различал такие типы лжи, как “ложь о себе”, “ложь о других”, “ложь о настоящем и ложь о будущем”, то есть о намерениях человека.

Выдающегося результата добились совсем недавно два американских нейрохирурга – Дж. Гэлэнт и Ш. Нишимото (Университет Беркли, Калифорния). С помощью новейшего магнитного резонатора они смогли расшифровать нейродинамический код сложных субъективных состояний, получить на мониторе компьютера “движущуюся картинку” тех объектов, которые мысленно представляли себе участники экспериментов.

Подобные исследования развиваются исключительно быстрыми темпами. Создаются всё более эффективные интерфейсы “мозг–компьютер”. На подходе наноинтерфейсы. Идёт мощное встречное движение со стороны компьютерного моделирования деятельности мозга и разработок искусственного интеллекта. На конференции *Su percomputing 2009* (18 ноября 2009, Портленд, США) компания IBM сообщила, что впервые на одном из самых мощных суперкомпьютеров ею проведено моделирование коры головного мозга кошки. Данная модель содержит 1 млрд нейронов и 10 трлн. отдельных синапсов. Она воспроизводит информационные процессы, представляющие ощущения, действия и когнитивные операции животного. Как было заявлено на конференции, сопоставимый с мощностью человеческого мозга компьютер компания IBM планирует разработать к 2019 г. К тому же времени корпорация INTEL обещает создать так называемый *телепатический интерфейс* – устройство, с помощью которого человек сможет управлять различными механизмами и компьютерной техникой при помощи мысли. Важно иметь в виду, что, помимо открытых, проводятся и закрытые исследования в военных целях (заказчиком которых является, в частности, подразделение Пентагона DARPA). Несомненно, что эти направления исследований имеют стратегическое значение.

Отечественные учёные, безусловно, внесли очень большой вклад в разработку проблемы “психика и мозг”. Однако в указанной области наше отставание весьма значительно. И это несмотря на то что у нас ещё в 1970-х годах плодотворно велись исследования по расшифровке мозговых кодов академиком Н.П. Бехтеревой и её замечательным коллективом, куда входили П.В. Бундзен, В.М. Смирнов, Ю.Л. Гоголицын, С.В. Медведев и другие. Эти работы во многом сохраняют своё значение и сегодня. Более того, в то время разрабатывались и философско-методологические вопросы проблемы расшифровки мозговых кодов.

Исследования по расшифровке мозговых кодов психических явлений носят комплексный, междисциплинарный характер, требуют согласованной работы представителей многих дисциплин, оперирующих разными и зачастую далёкими друг от друга понятиями, методами, теоретическими инструмен-

тами (они охватывают очень широкий диапазон – от математики, дисциплин биофизического и биохимического профиля, всего комплекса наук о строении и функциях мозга до компьютерных наук, психологии, лингвистики). Эту многомерную структуру участия различных научных дисциплин в решении задач расшифровки мозговых кодов трудно упорядочить и привести к некоторому общему знаменателю. Реальный процесс взаимодействия, как важнейший фактор развития нейронауки, требует специального теоретического анализа, который призван служить построению своего рода концептуальных мостов между разными дисциплинами. К этому следует добавить, что огромный объём экспериментальных исследований в рассматриваемой области продолжает быстро возрастать, создавая серьёзные трудности для их оптимизации и теоретического осмысления.

Назрела острая потребность в систематизированном сопоставлении и анализе полученных результатов, выяснении узких мест, перспективности предлагаемых гипотез, степени их подтверждения наличным экспериментальным материалом, разрешающей способности используемых методов. Необходимо систематичное осмысление основных теоретических вопросов в данной области исследований, прежде всего вопросов междисциплинарного плана, привлечения с этой целью инструментария методологии науки (накопившей большой опыт в анализе такого рода задач).

Специальная теоретическая работа в обозначенной области исследований способна служить повышению их эффективности. Она призвана чётко определять узловые задачи, стимулировать прорывные направления исследований. В области нейронаук назревает то, что давно сложилось в физике – разделение труда между экспериментаторами и теоретиками. Об этом говорят крупные учёные, подчёркивая острый дефицит упорядочения и осмысления колоссального фактического материала современной нейронауки. Дж. Хокингс, например, считает, что сейчас мы уже не можем обойтись без “теоретической нейробиологии”, и надо приложить все усилия, чтобы она была создана [3, с. 11]. В последнее время этим вопросам особое внимание уделяют наши ведущие специалисты в области нейронауки (А.М. Иванович, К.В. Анохин, Ю.И. Александров, Т.В. Черниговская, В.Я. Сергин, А.Я. Каплан, М.А. Островский, С.В. Медведев и др.).

Обозревая зарубежные исследования по проблематике мозговых кодов за последние три-четыре года, мы видим, что новации разного рода и уровня сыплются там, как из рога изобилия. Ясно, что это связано с высокой технической и финансовой оснащённостью многочисленных научных центров, ведущих такие исследования. Ясно и то, что нам бессмысленно “догонять” их по уже протоптанному тропам и дорогам. Проблемное поле современной нейронауки многомерно и динамично, в нём постоянно назревают новые возможности стратегического прорыва. Именно они создают для нас шанс выхода на передовые рубежи. Но для этого нужно с максимальным реализмом и полнотой отслеживать и оценивать то, что происходит в западной нейронауке. К сожалению, у нас этим никто серьёзно не занимается (я имею в виду какую-либо специальную структуру, имеющую такую цель и соответствующие средства). Это делается “на глазок” отдельными лицами, без основательного анализа и теоретического осмысления всей панорамы исследований и новаций.

Наука о мозге и её результаты приобретают стратегическое значение, подтверждением чего служит и нынешняя научная сессия Российской академии наук. Проблематика расшифровки мозговых кодов, её экспериментальные программы включают практически все уровни исследования мозга. Она, без преувеличения, образует передний край нейронауки. Учитывая это, важно создать в рамках Академии наук хотя бы небольшой теоретический центр с задачами: систематически и оперативно отслеживать все новации и подвижки в расшифровке мозговых кодов и в смежных областях исследования; классифицировать и подвергать их тщательному анализу; зондировать назревающие прорывные направления; теоретически осмысливать общую ситуацию с целью выработки стратегических ориентиров и концентрации усилий на главных новых направлениях.

Личность, являясь элементом социальной системы, относительно автономна. Она открывает, закрывает, приоткрывает свой субъективный мир, говорит правду и дезинформирует по своей воле и весьма избирательно. Если будут созданы технологии “раскрытия” субъективного мира личности, то к чему это может привести? В чьих руках они окажутся? Кто, кого и зачем будет “открывать”, оставаясь “закрытым”? Эти вопросы уже сейчас актуальны, ибо указывают на глобальные угрозы и риски. Мы должны заранее готовиться, чтобы противостоять им. В этом отношении роль гуманитарных дисциплин становится решающей, ибо без основательной социальной и этической экспертизы, без её действенных санкционирующих механизмов нам грозит глобальная катастрофа. Поэтому сейчас первостепенное значение приобретает разработка и наведение концептуально-смысловых “мостов” между физическими, биологическими, техническими и социогуманитарными дисциплинами. Самым главным для нашего времени остаётся экзистенциальный вопрос: о смысле существования и деятельности человека и человечества, о подлинных смыслах и ценностях, способных противостоять нарастающему абсурду. Этим также определяется жизненно значимый философский аспект проблемы “сознание и мозг”.

В заключение следует сказать, что каждый действительно крупный учёный, занимаясь вопросами теории в своей области знания, непременно выходит на метатеоретический уровень нейронауки. И здесь его ждёт встреча с философом, которая может быть плодотворной для обеих сторон, если учёный отдаёт себе отчёт, что всегда стоит на краю бездны незнания, а философ оказывается достаточно компетентным в соответствующей области науки и высоко ценит труд учёного.

Литература

1. Павлов И.П. Полное собр. соч. Изд. 2-е. Т. 2. Кн. 2. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1951.
2. Дубровский Д.И. Психические явления и мозг. Философский анализ проблемы в связи с актуальными задачами нейрофизиологии, психологии и кибернетики. М.: Наука, 1971; Дубровский Д.И. Проблема нейродинамического кода психических явлений // Вопросы философии. 1975. № 6; Дубровский Д.И. Сознание, мозг, искусственный интеллект. М.: Стратегия-Центр, 2007.
3. Хокингс Дж., Блейкли С. Об интеллекте. М.–СПб.–Киев: Вильямс, 2007.

НЕЙРОХИРУРГИЯ И МОЗГ

Академик А.Н. Коновалов

Настоящая сессия РАН посвящена одной из самых главных и самых интригующих проблем современной науки – раскрытию тайн мозга. Свою задачу я вижу в том, чтобы показать, как нейрохирургия с её методами помогает решать эту проблему. Мне также представляется важным определить задачи, решение которых возможно только совместными усилиями учёных разных специальностей. Такие совместные усилия, направленные на раскрытие сокровенных механизмов мозга, представляются мне важными ещё и потому, что они позволяют достичь успеха в стратегически важной программе Российской академии наук – “Фундаментальные науки – медицине”.

Первое, на чём я считаю нужным остановиться, – это современные методы диагностики, как принято сейчас говорить, нейровизуализации. Развитие нейрохирургии как специальности началось в тот момент, когда появилась возможность распознавать локализацию и структуру поражения мозга. Многие из методов, которые применялись в диагностических целях для распознавания различных заболеваний мозга, были предложены нейрохирургами. К сожалению, эти методы в основном были инвазивными и нередко травматичными.

Революцию в медицине вообще и в первую очередь в неврологии и нейрохирургии произвела разработка и применение в клинической практике компьютерной томографии (А. Кормак и Г. Хаунсфилд), магнитно-резонансной томографии (П. Лаутенбур и П. Мэнсфилд). Эти открытия удостоены Нобелевской премии соответственно в 1979 и 2003 гг.

Коротко остановлюсь на диагностических и исследовательских возможностях магнитно-резонансной томографии (МРТ). Этот метод, равно как и компьютерная томография, даёт исчерпывающую информацию об анатомии мозга, по точности превосходящую изображение в анатомических атласах. Следующий шаг, расширяющий диагностическую ценность МРТ, был сделан в последние годы. Стало возможным визуализировать внутреннюю структуру мозга, его проводящие пути. Диффузионная тензорная МРТ позволяет регистрировать движение протонов по нервным волокнам и посредством сложной математической обработки получать их изображение. Этот метод – трактография – важен для уточнения поражения мозга: при опухолях, располагающихся в глубинных структурах мозга, где имеется сосредоточение проводящих путей мозга (рис. 1); при травме мозга, особенно тяжёлой травме, при которой в первую очередь страдают проводящие пути, и при многих других заболеваниях.

Магнитно-резонансная томография позволяет нам изучать биохимические процессы в мозге. Это необходимо при нарушении кровообращения мозга, воспалительных процессах, опухолях, поскольку магнитно-резонансная спектроскопия даёт возможность дифференцировать злокачественные новообразования и доброкачественные. В этой области наметился быстрый прогресс. Если обычно магнитно-резонансная спектроскопия производится на основании определения протонов водорода, то теперь мы можем в клинических условиях проводить спектроскопию по фосфору, а в ближайшее

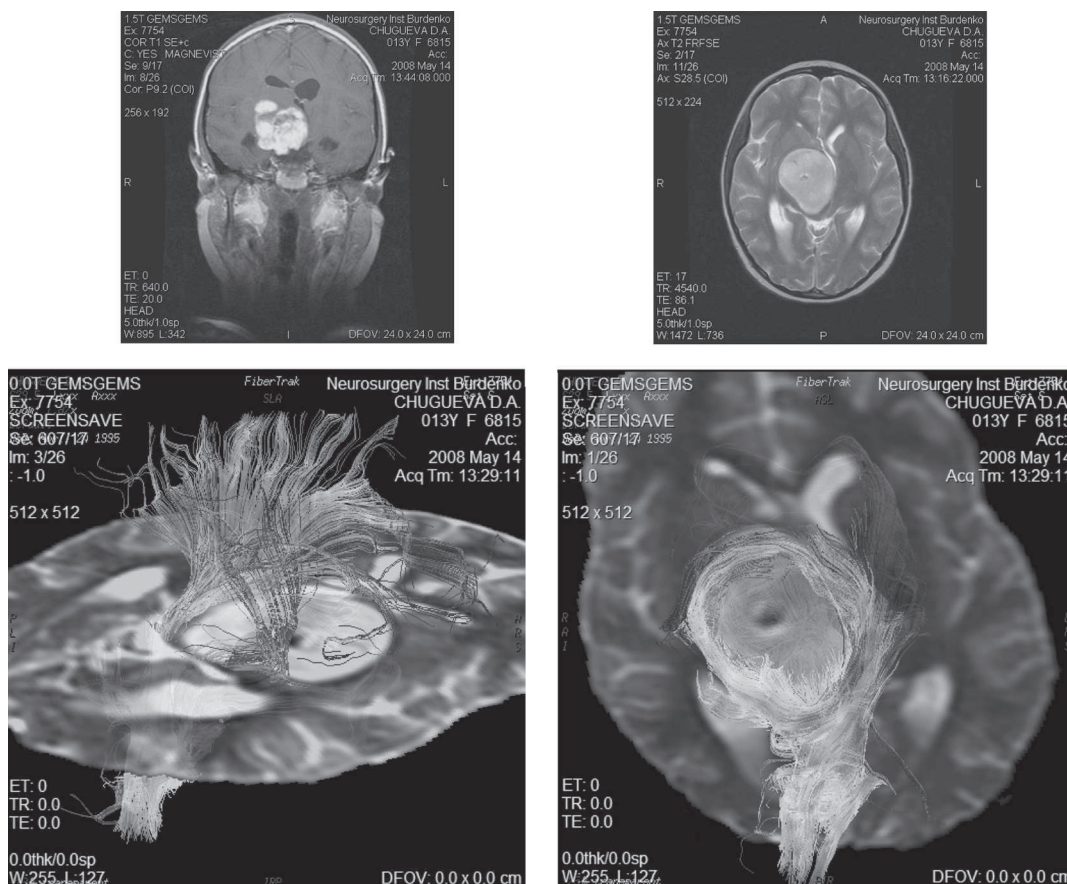


Рис. 1. Магнитно-резонансные томограммы мозга больного с опухолью зрительного бугра
Вверху – магнитно-резонансные томограммы в двух проекциях: фронтальной (слева) и аксиальной (справа); внизу – магнитно-резонансная трактография

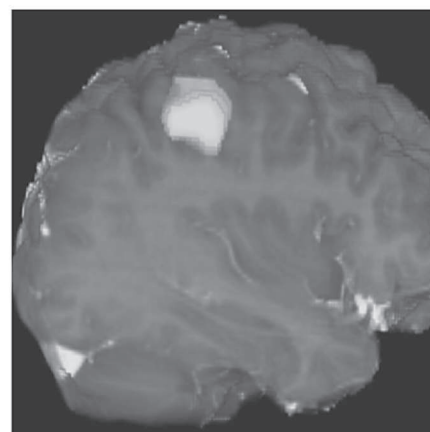
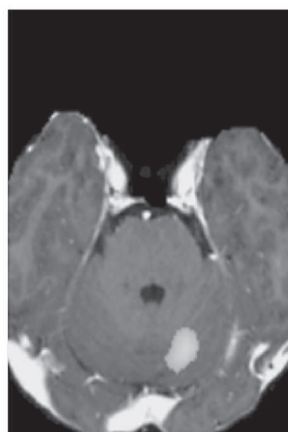
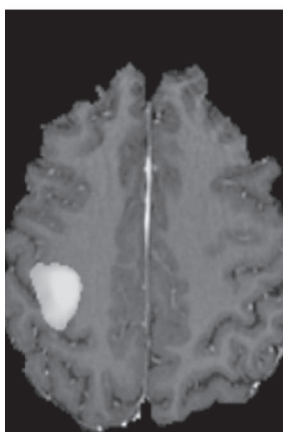
время – по углероду с помощью гиперполяризованного изотопа ^{13}C . Это позволит нам заглянуть в глубь клетки.

Следующим, исключительно важным достижением в диагностике, надо считать так называемую функциональную МРТ, позволяющую выявлять наиболее значимые области мозга. Благодаря столетиями накопленному опыту мы знаем где, в каких отделах мозга локализуются центры речи, слуха, зрительного восприятия, двигательные центры. Эти сведения получены на анатомических препаратах, содержатся в атласах, но совсем другое – знать, где такие центры располагаются у конкретного больного. Функциональная МРТ помогает решить эту проблему. Она основана на том, что при выполнении тех или иных тестов происходит усиление кровоснабжения в тех зонах мозга, работа которых обеспечивает реализацию соответствующей функции.

Суть этих исследований понятна, когда ставится задача определить локализацию тех или иных двигательных центров, например двигательного центра руки (рис. 2). Испытуемый многократно сгибает и разжимает пальцы руки, в результате в двигательном центре руки усиливается кровоток, возникает



Рис. 2. Функциональная магнитно-резонансная томография двигательного центра руки и вторичных центров в мозжечке при движении пальцев



разница в содержании окси- и дезоксигемоглобина (парамагнетика) по сравнению с другими отделами мозга. Эти изменения сигнала улавливаются, подвергаются сложной математической обработке, и на томограммах мы видим как корковую двигательную зону, так и другие структуры (мозжечок), которые принимают участие в реализации этих движений.

Функциональная МРТ позволяет выявлять центры мозга, где воспринимаются речевые и зрительные сигналы, центры понимания речи и др. Этот метод широко используется сейчас в диагностике психических заболеваний, в изучении влияния на функцию мозга фармакологических препаратов.

В последнее десятилетие с помощью МРТ получены новые, очень ценные данные о разной роли полушарий мозга – доминантного и недоминантного – в познавательной деятельности, в частности, о возрастании роли левого полушария в сохранении “интеллектуального благополучия” при старении.

Метод функциональной МРТ развивается очень быстро, совершенствуются математические программы. В клинике начинают использоваться мощные магниты – 3- и 7-тесловые. И я убеждён (это не фантазия!), что в ближайшие годы у нас появится возможность видеть, как протекают в мозгу те или иные мыслительные процессы, как решаются интеллектуальные задачи.

Наряду с функциональной МРТ следует упомянуть и о других методах исследования мозга, в частности таких, как позитронно-эмиссионная томография и магнитоэнцефалография. Одни из первых попыток по использованию магнитоэнцефалографии для изучения функций мозга были предприняты в Курчатовском институте. Жаль, что они были приостановлены и не воплощены в реальные приборы. В этой связи мы рассчитываем на совместную работу с академиком Ю.В. Гуляевым и его группой в Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН. Здесь уже созданы приборы, регистрирующие изменение магнитных полей сердца, и разрабатывается оригинальный вариант магнитоэнцефалографа.

Методы магнитоэнцефалографии исключительно важны для развития нейропсихологии – науки, одним из основоположников которой был ярчайший отечественный психолог А.Р. Лурия. К сожалению, передовые позиции, которые занимала отечественная нейропсихология, в определённой степени ныне утрачены. Перед нейропсихологами стоит задача, используя современные возможности, добиться восстановления в России престижа в этой области познания деятельности мозга.

Следующая проблема, на которой я хочу остановиться, – это методы исследования кровоснабжения мозга, имеющие прикладное и клиническое применение. Не вдаваясь в подробности, хочу лишь подчеркнуть, что сосудистые поражения мозга – одна из основных причин смертности и инвалидности населения. Ежегодно в России около 40 тыс. человек становятся жертвами мозгового инсульта, наиболее частая причина которого – нарушение притока крови к тем или иным областям мозга (так называемый ишемический инсульт).

В связи с этим должен упомянуть об общеизвестных истинах: мозг, его клетки, в отличие от других органов, не имеют энергетических запасов. Всё, что нужно для его работы, в первую очередь кислород и глюкоза, доставляются током крови. Если приток крови прекращается всего на пять–семь минут, клетки мозга гибнут. Эти особенности объясняют тот парадокс, что мозг, составляющий приблизительно 1.5% массы тела, потребляет 20% кислорода, по его сосудам протекает 20% крови. Мозг – орган с очень богатой и сложной системой кровоснабжения. На рисунке 3 приведены сосудистый

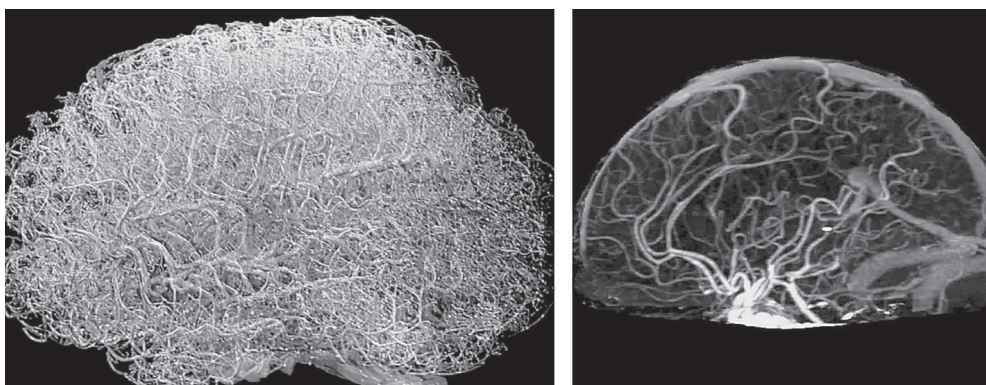


Рис. 3. “Слепок” сосудистой системы мозга (слева) и трёхмерная компьютерная ангиография мозга (справа)

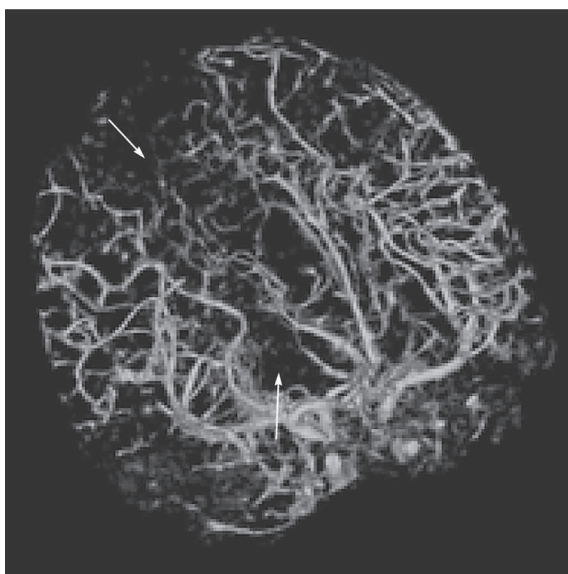


Рис. 4. Компьютерная томограмма мозга в режиме перфузионной ангиографии

Чётко видны зоны нарушенного притока крови (указаны стрелками)

каркас мозга (сосуды заполнены особой твердеющей массой, с помощью которой получается “слепок” сосудистой системы мозга), и реальная картина кровоснабжения мозга, полученная с помощью трёхмерной компьютерной томографии.

Очень важно, что в руках клиницистов есть методы, которые с высокой точностью позволяют улавливать изме-

нения мозгового кровообращения. Метод перфузии сразу после развития сосудистой катастрофы помогает определить область мозга, в которой нарушен приток крови (рис. 4). Другие методы (МРТ-диффузионный метод, МРТ и компьютерная томография в стандартных режимах) более инертны. Они выявляют изменения в структуре и биохимии мозга спустя длительное время.

Особой значимости информация может быть получена с помощью магнитно-резонансной спектрографии. В зоне ишемии выявляются характерные метаболические сдвиги, которые могут быть прослежены в динамике.

Для нейрохирургов крайне важно объединить всю полученную информацию в одном объёмном (голографическом) изображении если не всего мозга, то по крайней мере той зоны, которая представляет особый интерес. Такое исследование мы проводим с конструкторским бюро “Информационных и измерительных проблем” в Дубне.

Следующая существенная для нейрохирургов проблема: как использовать полученную информацию во время операции, чтобы сделать хирургическое вмешательство одновременно эффективным и безопасным. Используя методику интраоперационной навигации, хирург во время операции может сопоставлять положение своих инструментов, которое лоцируется инфракрасными датчиками, с полученными ранее результатами компьютерной томографии, МРТ, ангиографии, других исследований, данные которых обобщены в компьютерном виде. Более того, система интраоперационной навигации заложена в конструкцию современных хирургических микроскопов.

Основываясь на полученной о структуре мозга информации, можно виртуально моделировать ход операции. Ориентироваться в структурах мозга помогают такие методы, как регистрация биоэлектрической активности в определённых областях мозга и стимуляция его структур. Последний метод применяется, когда операции осуществляются на стволе головного мозга,

где сосредоточены жизненно важные функции. Если операции выполняются вблизи речевых зон, используется метод пробуждения. На наиболее ответственном этапе, когда нейрохирург манипулирует вблизи речевых центров, например вблизи центра Брока, больного будят и с ним возможен речевой контакт.

Благодаря совершенствованию техники операций на мозге, стали возможны операции в таких зонах, которые ещё недавно считались запретными, например на стволе мозга или в гипоталамической области. Естественно, появляется необходимость исследования роли этих структур мозга. Ограничусь примером удаления опухоли гипоталамуса и третьего желудочка (рис. 5). Такие операции могут приводить как к разительному улучшению эндокринных обменных функций (рис. 6), так и к серьёзным нарушениям метаболизма и обменных процессов, которые часто неизбежны, поскольку в гипоталамической области мозга сосредоточены центры регуляции обменных процессов и эндокринной регуляции. Определение допустимости подобной хирургической агрессии, предупреждение и лечение её неблагоприятных последствий – проблема, которая может быть решена лишь комплексно с участием эндокринологов, патофизиологов, биохимиков.

К одному из наиболее интересных в познавательном смысле разделов нейрохирургии, безусловно, следует отнести так называемую функциональную нейрохирургию. Смысл таких операций – нормализовать или изменить в лучшую сторону ту или иную нарушенную функцию мозга. Раздел функциональной хирургии включает операции при эпилепсии, упорных болевых синдромах, нарушении движений.

Первоначально применялись в основном деструктивные операции – пересечение проводящих путей, разрушение отдельных ядерных структур мозга. Чтобы точно ввести соответствующий инструмент в глубину мозга, использовался (и используется до сих пор) стереотаксический метод. С помощью стереотаксического аппарата, фиксирующегося на черепе больного,

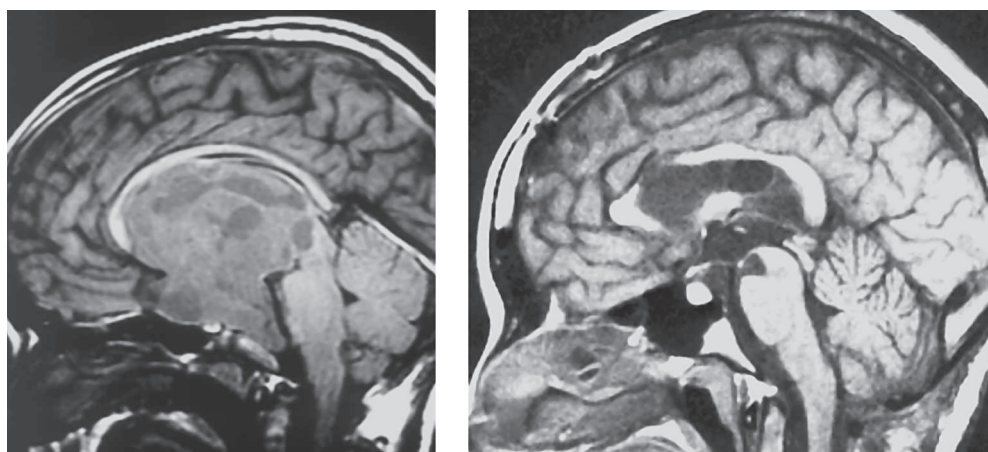


Рис. 5. Магнитно-резонансные томограммы большой опухоли, расположенной в области гипоталамуса и третьего желудочка

Слева – до удаления, справа – после удаления опухоли

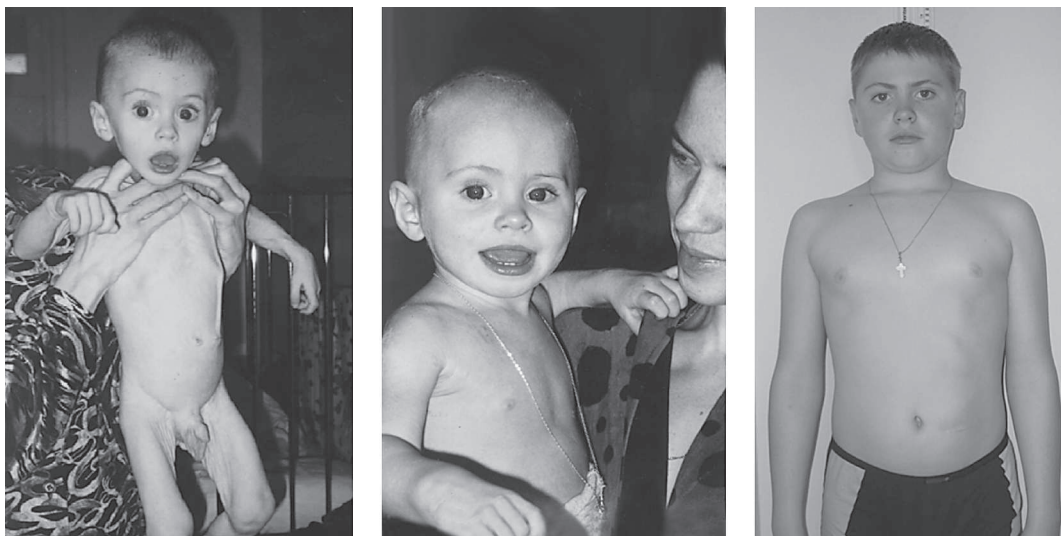


Рис. 6. Положительный эффект удаления опухоли гипоталамуса у младенца, страдающего кахексией, на эндокринно-обменные функции
Слева направо: перед операцией, через 6 месяцев после операции, через 11 лет после операции

и расчётов на основании данных компьютерной томографии или МРТ достигается очень высокая точность (до 1–2 мм) попадания в те или иные отделы мозга.

В последнее десятилетие применяется метод электростимуляции, который позволяет модулировать нарушенную функцию, не разрушая при этом структуры мозга. Особенно эффективны подобные операции при паркинсонизме – заболевании распространённом и всем хорошо знакомом. В одну из глубинных подкорковых структур (например, заднее латеральное ядро зрительного бугра, “бледный шар”) вводится электрод, который соединён с расположенным под кожей приёмным устройством. Подбирается программа электрической стимуляции, эффективная для больного. При строгом определении показаний такая операция может быть очень эффективной: устранит тремор (дрожание) конечностей, снизит мышечный тонус и значительно расширит функциональные возможности больного. Не менее яркий эффект может быть получен и при других заболеваниях, приводящих к нарушению движений, насильственному спазму мышц, так называемой торсионной дистонии (рис. 7).

Механизмы влияния таких операций сложны. Много в понимании механизмов упорных болей, насильственных движений и других видов нарушения нервной деятельности сделали отечественные учёные, в их числе Н.П. Бехтерева и Г.Н. Крыжановский. В основе этих механизмов часто лежат нарушения медиаторного обмена, например при паркинсонизме. Их раскрытие требует совместных усилий нейрофизиологов, фармацевтов и ряда других специалистов.

Ещё к одной проблеме хотел бы привлечь внимание – это проблема регенерации мозга. До недавнего времени как аксиома принималось положение, что нервные клетки не регенерируют. Лишь в последние годы были



Рис. 7. Положительный эффект стимуляции одной из подкорковых структур мозга у больной, страдающей постоянным спазмом мускулатуры

До операции голова больной практически постоянно была резко запрокинута назад (слева), после операции на фоне стимуляции “бледного шара” пациентка практически здорова

проведены исследования, показавшие, что в области гиппокампа и в паравентрикулярной зоне мозга постоянно возникают новые стволовые клетки, которые замещают часть погибших. Проблема стволовых клеток, их возможная роль в восстановлении повреждённых структур мозга – одна из самых интригующих и, возможно, самых перспективных. Вместе с тем она ещё не вышла из рамок экспериментальных исследований, и пока нет реальных оснований для клинического использования стволовых клеток.

В заключение остановлюсь на проблеме протезирования утраченных функций. Это одно из перспективных направлений, и уже сейчас достигнуты определённые успехи, например, в протезировании утраченного слуха. Возможности восстановления слуха зависят от характера повреждения. Причиной утраты слуха может быть поражение слухового аппарата – звуковоспринимающих клеток, расположенных в улитке, и повреждение слуховых нервов. Наиболее эффективны звуковосстанавливающие операции при повреждении слуховоспринимающего аппарата. Этой проблемой занимаются отиатры. Прибор, позволяющий восстановить слух, состоит из внешнего устройства, которое преобразует звуки различной частоты в электрические сигналы. Последние подаются на электрод специальной конструкции, который вводится в улитку и стимулирует непосредственно нервные окончания. Этот метод широко применяется в разных странах, в том числе и в России.

Для нейрохирургов большой интерес представляет возможность хотя бы частичного восстановления восприятия звуков, когда по тем или иным причинам повреждены слуховые нервы. В подобных случаях применяется метод непосредственного стимулирования слуховых ядер, расположенных в стволе мозга. Такие исследования проводятся в различных центрах (к сожа-

лению, пока не у нас), и в отдельных случаях получены обнадеживающие результаты. При утрате зрения также производится стимуляция зрительных путей, начиная от сетчатки, зрительных нервов и заканчивая корой затылочных долей. Предпринимаются попытки преобразования электрических потенциалов двигательной зоны коры в электрические импульсы, которые могут приводить в действие внешние устройства, способные в какой-то мере воспроизводить функцию руки.

Я вскользь и, по всей вероятности, с инженерной точки зрения не очень профессионально изложил проблему протезирования утраченных функций. Однако эту информацию всё же считаю важной, поскольку уверен, что участие российских учёных может быть крайне полезным для больных с поражением тех или иных функций.

В своём сообщении я хотел показать, что последние десятилетия ознаменовались многими достижениями, позволяющими понимать, как работает мозг, и реально помогать больным с различными заболеваниями, приводящими к нарушению функции мозга. Учитывая возрастающий интерес к познанию механизмов работы мозга, можно надеяться, что многие его тайны будут раскрыты. Опасаюсь лишь, что нам никогда не удастся познать его основную тайну – понять, как материальные процессы становятся идеальными, как работа мозга превращается в сознание.

Благодарю за помощь в подготовке доклада сотрудников Института нейрохирургии: академика РАМН В.Н. Корниенко, доктора медицинских наук Д.И. Пицхелаури, профессора И.Н. Пронина, профессора В.А. Шабалова, Д.Я. Самборского.

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОЗГА

Академик Ю.В. Гуляев

С самого начала должен оговориться: мой доклад относится, скорее, к разработке аппаратуры для будущих исследований головного мозга, чем к тому, что уже получено в нашей стране. В Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН вот уже более 30 лет мы занимаемся разработкой аппаратуры для ранней медицинской диагностики на основе дистанционного измерения физических полей и излучений, которые возникают вокруг человеческого организма и его органов, в том числе и мозга, в процессе их функционирования. На этом пути достигнуты определённые успехи и уже создан ряд диагностических приборов и установок, которые выпускаются серийно либо готовы к серийному производству. Среди них могу указать на уникальную инфракрасную термографическую камеру ИРТИС-2000; радиотермограф для измерения температуры в глубине человеческого тела; электроимпедансный компьютерный маммограф, который при исследовании молочной железы даёт те же результаты, что и рентгеновский, но при этом абсолютно безвреден и на порядок дешевле; уникальный

магнитокардиограф, позволяющий по измерениям собственного магнитного поля сердца судить о работе этого замечательного органа и его частей в норме и при различных патологиях.

Что касается исследования функционирования мозга, то мы начинали эти работы вместе с Институтом высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Ещё в прошлом столетии вместе с академиком П.В. Симоновым и его сотрудниками мы изучали вопросы сна с помощью нашего радиотермографа. В 2002 г. Павел Васильевич скончался, часть его сотрудников, которые работали с нами, уехали за границу. К счастью, возникло сотрудничество с Институтом нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко, возглавляемым академиком А.Н. Коноваловым. На первых порах мы занялись классической электроэнцефалографией.

Этот метод исследования функционирования мозга, восходящий ещё к работам И.М. Сеченова (1882) и Г. Бергера (1929), широко применяется в мире, имеются прекрасные высокочувствительные электроэнцефалографы, в том числе и в Институте нейрохирургии. Задача состоит в расшифровке и обработке сигналов электроэнцефалографа. Институт радиотехники и электроники ещё во времена руководства им академиком В.А. Котельниковым специализировался по расшифровке и обработке слабых радиосигналов и выделения их из шумов. Именно в этой области мы сотрудничаем с Институтом нейрохирургии.

Электроэнцефалография имеет два недостатка. Во-первых, она, как правило, инвазивна, для получения чётких сигналов необходимо вживлять электроды в черепную коробку. Во-вторых, сигналы поступают с поверхности коры головного мозга, и установить на их основе, что происходит в глубине (а основные сенсорные зоны находятся в глубоких бороздах коры мозга) – это особая, достаточно сложная задача. Как и в случае электрокардиографии, где альтернативой является магнитокардиография, на помощь электроэнцефалографии приходит магнитоэнцефалография (МЭГ). Магнитное поле не экранируется тканями организма, благодаря чему удастся получить сведения об электрических процессах в глубинных частях коры и в подкорковых слоях мозга. МЭГ исследует электрическую активность мозга человека посредством анализа магнитного поля, генерируемого имеющимися в мозге электрическими источниками. К преимуществам этого метода относятся высокая функциональная локализация источников, высокая чувствительность и специфичность, миллисекундное временное разрешение, абсолютная неинвазивность и короткое время для подготовки пациентов. Существует также уникальная возможность совмещения магнитоэнцефалографии и магнитно-резонансной томографии (МРТ) в ультраслабых магнитных полях в одной и той же установке.

Другое дело, что магнитное поле мозга очень слабое. Например, максимальное магнитное поле сердца в R-пике кардиосигнала в 1 млн раз меньше магнитного поля Земли, которое крутит стрелку компаса, а изменение магнитного поля мозга в процессе функционирования ещё в 100 раз меньше. Тем не менее современная аппаратура на основе так называемых СКВИДов – сверхпроводниковых квантовых интерференционных датчиков – позволяет измерять такие слабые магнитные сигналы. В настоящее время в мире создано несколько конструкций магнитоэнцефалографов, однако они очень дорогие,

поскольку требуют серьёзной магнитной экранировки в помещении. В отличие от этих установок разработанные в нашем институте СКВИД-системы для биоманнитных применений используют не просто отдельные СКВИД-магнитометры, а их конфигурации в виде аксиальных градиентометров второго порядка. Это позволяет подавить внешние помехи примерно в 100 тыс. раз и обойтись без какой-либо экранировки. С достигнутой флуктуационной чувствительностью около $10 \text{ фТл}/\sqrt{\text{Гц}}$ можно измерять магнитные поля сердца ($\sim 100 \text{ рТл}$) с хорошим отношением “сигнал–шум”. По сути, эти же приборы могут применяться и как магнитоэнцефалографы после соответствующего изменения конструкции.

Такая работа проводится нами совместно с группой физиков из Лос-Аламосской национальной лаборатории США. В этой лаборатории ведущим специалистом в области СКВИД-техники является мой бывший сотрудник, талантливый инженер-физик А.Н. Матлашов. Идея проекта – создание комбинированной диагностической установки, состоящей из магнитоэнцефалографа и магнитно-резонансного томографа, работающего в сверхслабом (десятки микротесла) магнитном поле, с использованием в качестве приёмников тех же СКВИДовских градиентометров второго порядка. В сверхслабых магнитных полях ядерный магнитный резонанс происходит на низких частотах (порядка нескольких килогерц), что и позволяет эффективно использовать в качестве приёмников сверхчувствительные СКВИД-системы. Первые эксперименты подтвердили плодотворность такого подхода. На рисунке 1 показаны общий вид комбинированной экспериментальной установки и сигналы 7-канального магнитоэнцефалографа в ответ на звуковую стимуляцию человека. Математически обработав эти сигналы, можно локализовать электрические источники в мозге, активированные звуковой стимуляцией, с точностью до нескольких миллиметров.

Имеются первые магнитно-резонансные томограммы мозга человека, полученные в сверхслабых (46 мкТл) магнитных полях на этой же установке. Конечно, они ещё не такие чёткие, как стандартные МРТ, снятые при величине поля 1.5 Тл , но подчеркну: это только первые эксперименты, и есть возможность существенно улучшить качество томограмм в ближайшее время, модернизируя и установку, и математические методы обработки сигнала. Между тем полученные в первых экспериментах уровни пространственного разрешения порядка 3 мм позволяют приступить к решению целого ряда практических задач по исследованию вызванных ответов мозга на различного рода стимуляцию и воздействия. Эта работа находится на самом начальном этапе, но мы надеемся вместе с нашими американскими коллегами и коллегами из Института нейрохирургии создать комбинированную установку “магнитоэнцефалограф–микротесловая МРТ”, которая будет работать без дополнительной магнитной экранировки в условиях обычной клиники.

Методы электро- и магнитоэнцефалографии позволяют изучать функционирование мозга по его электрической активности. Другой канал получения информации о функционировании мозга основан на измерении глубинной температуры мозга и изменений его диэлектрических свойств, связанных с процессами метаболизма и кровоснабжения. Именно в этом направлении мы в своё время проводили работы с П.В. Симоновым, в результате чего был создан многоканальный радиотермограф. Сегодня эти работы продолжаются

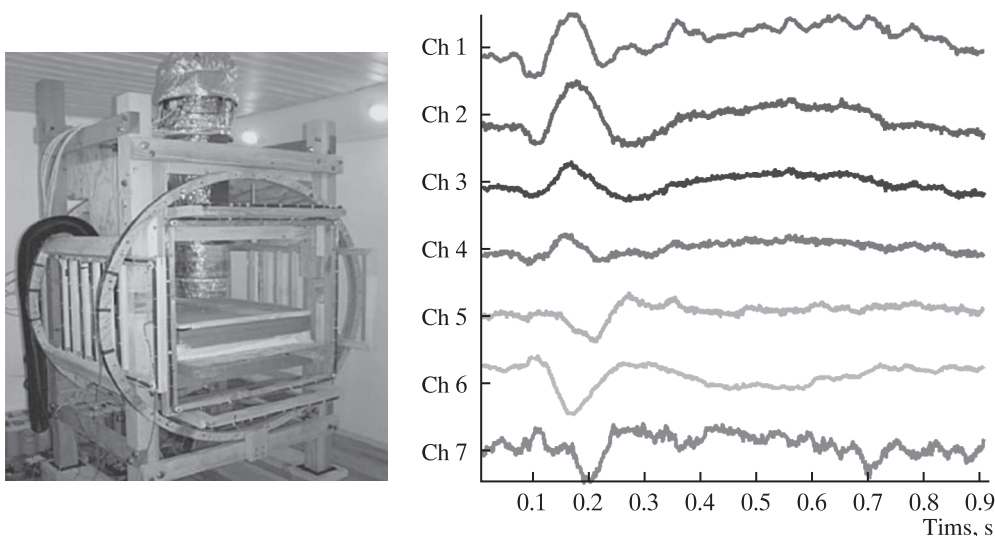


Рис. 1. Семиканальная система для магнитно-резонансной томографии в ультраслабых магнитных полях Лос-Аламосской национальной лаборатории США, созданная с участием сотрудников Института радиотехники и электроники РАН (слева), и магнитоэнцефалограммы коры головного мозга человека, вызванные звуковой стимуляцией (справа)

Звуковой стимул представлял собой последовательность 1.2-миллисекундных щелчков с 14-миллисекундными интервалами

вместе с сотрудниками Института нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. (Считаю нужным напомнить, что первые исследования по радиотермометрии человеческого тела в нашей стране проводились в начале 70-х годов прошлого столетия в Горьком, в Научно-исследовательском радиофизическом институте по инициативе и под руководством замечательного учёного и инженера М.Т. Греховой.)

Радиотермограф измеряет так называемую радиояркостную температуру объекта, которая пропорциональна “истинной” термодинамической температуре внутри некоего скин-слоя и содержит, кроме того, сведения о диэлектрических свойствах этого слоя. Толщина скин-слоя зависит от длины волны принимаемого излучения и, грубо говоря, для человеческого организма на частоте 1 ГГц составляет примерно одну седьмую длины волны (около 3 см). При наличии многих каналов (на различные длины волн) можно получить трёхмерное распределение температуры внутри организма, если, конечно, мы зададим (или независимо измерим) соответствующие диэлектрические характеристики тканей.

Во многих случаях для исследования динамики функционирования мозга (метаболизма, кровоснабжения) достаточно определить изменения радиояркостной температуры. Так, в наших работах с П.В. Симоновым изучалась динамика радиояркостной температуры мозга во время нормального сна и гипнотического. Было показано, что при гипнотическом сне температура левого, аналитического, полушария (у правши) существенно ниже, чем правого, эмоционального. П.В. Симонов считал, что пики радиояркостной температуры во время сна связаны со сновидениями, а асимметрия темпе-

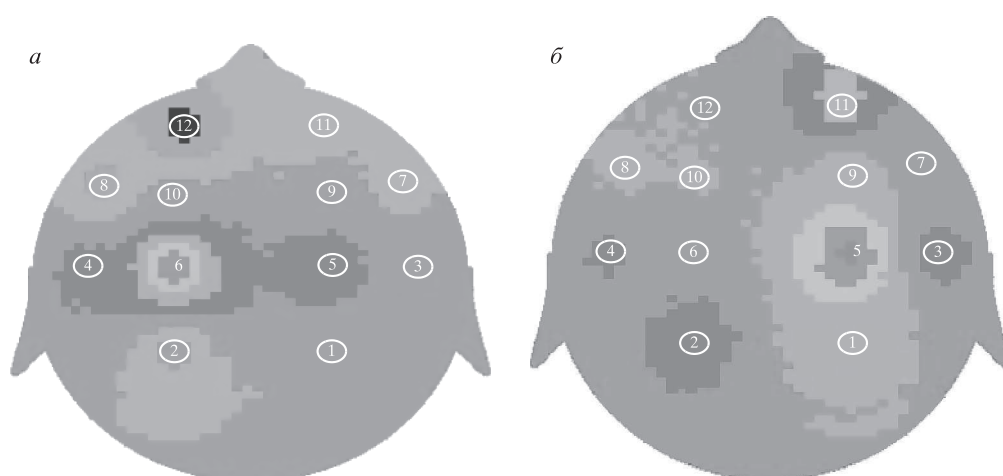


Рис. 2. Результаты измерения радиояркостной температуры коры головного мозга человека в двух различных тестах

Измерения проводились в точках 1–12; *а* – тест гипервентиляции с целью выявления центра эпилепсии (6); *б* – тест устного счёта, отмечено повышение радиояркостной температуры (5)

ратуры в правом и левом полушариях во время гипнотического сна обусловлена подавлением аналитического мышления. В последние годы такие исследования проводятся нами с группой сотрудников А.Н. Коновалова в Институте нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. На рисунке 2 приведено распределение радиояркостной температуры коры головного мозга при двух различных тестах: гипервентиляции с целью выявления центра эпилепсии и устном счёте.

Однако есть ряд случаев, когда врачу надо знать истинную (термодинамическую) температуру мозговой ткани. Например, при лечении опухолей с применением гипертермии температура здоровых тканей не может превышать 42 °С, иначе наступает некроз. Но для того, чтобы вычислить истинную температуру из радиояркостной, нужно использовать несколько частотных каналов, а ещё лучше – провести независимые измерения диэлектрических свойств, в частности электропроводности (или импеданса) мозга. В принципе, это можно сделать с помощью разработанного нами метода электроимпедансной компьютерной томографии или её бесконтактного варианта – магнитоиндукционной томографии. В последнем случае зондирование производится с помощью слабых наведённых высокочастотных токов Фуко (рис. 3).

Другим, альтернативным методом измерения истинной (термодинамической) температуры мозга является акустотермография, то есть обнаружение внутренних температурных неоднородностей биологических тканей по их собственному тепловому акустическому излучению. Эти работы мы ведём вместе с Институтом прикладной физики РАН (Нижний Новгород). Акустотермограф действует так же, как и радиотермограф, но вместо тепловых фотонов используются тепловые фононы (рис. 4). У акустотермографа несколько более низкая температурная чувствительность (0.2–0.3 К), чем у радиотермографа, зато намного лучше пространственное разрешение

Рис. 3. Схема метода магнитоиндукционной томографии (а) и первое из полученных этим методом распределение проводимости головного мозга человека на частоте 20 МГц (б)

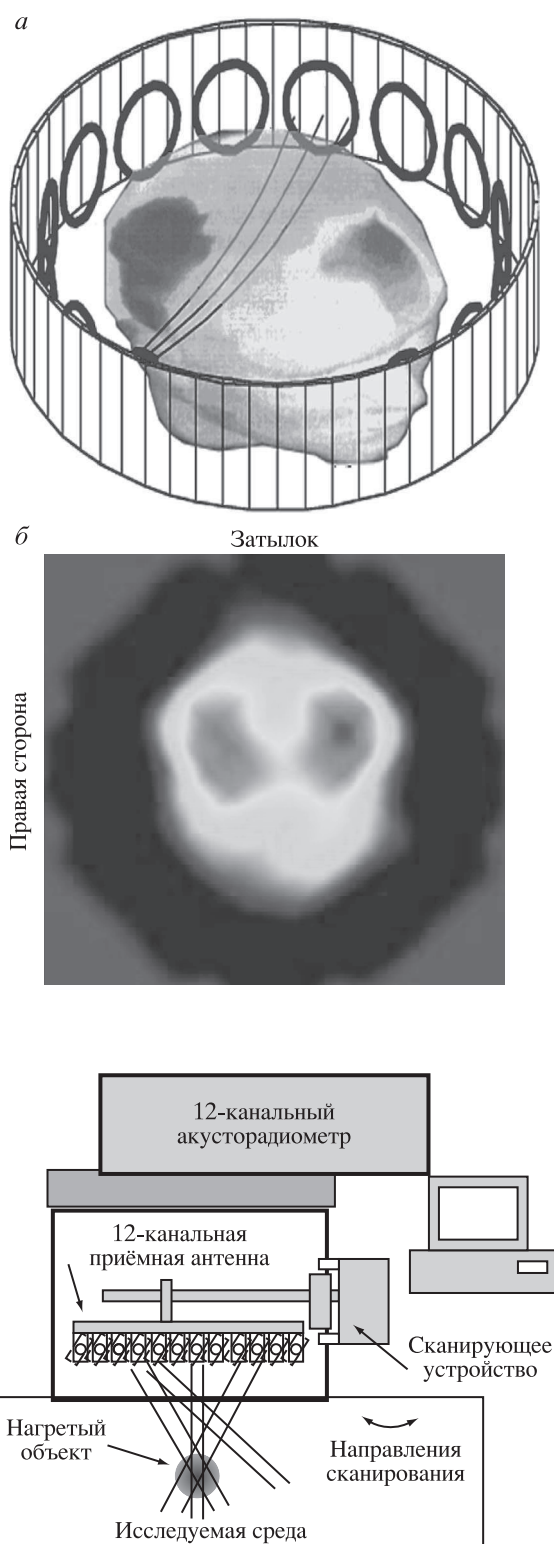
Две области повышенной проводимости (тёмные на изображении) могут быть интерпретированы как боковые желудочки головного мозга, наполненные спинно-мозговой жидкостью

(примерно 1–2 мм). Мы измеряем непосредственно акустояркую температуру, а для вычисления распределения истинной термодинамической температуры надо провести измерения на нескольких ультразвуковых частотах или знать из независимых измерений акустические характеристики среды. Последние могут быть получены с помощью обычных УЗИ, работающих на тех же частотах (1–10 МГц). На этом пути мы надеемся выполнить одну из поставленных А.Н. Коноваловым и его сотрудниками задач по непрерывному мониторингу истинной температуры мозга при лечении мозговых травм и опухолей.

Последнее, на чём хочу остановиться, – это мониторинг некоторых реакций человеческого мозга по так называемому кожно-гальваническому рефлексу – временному повышению электропроводности кожи в результате выброса пота на поверхность при

Рис. 4. Схема 12-канального акустотермотомографа, разработанного сотрудниками Института прикладной физики и Института радиотехники и электроники РАН

Прибор предназначен для картирования поля температуры внутри биологических тканей



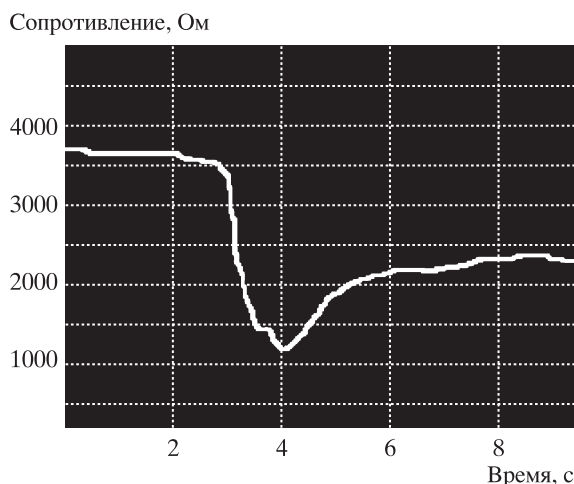


Рис. 5. Запись кожно-гальванической реакции при нервно-психической активности человека

увеличении нервно-психической активности человека. Из графика (рис. 5) видно, что эффект достаточно велик: за одну-две секунды сопротивление кожи меняется на несколько килоом, то есть возникают пики проводимости, количество и уровень которых характеризуют процессы работы мозга при сенсорных и эмоциональных раздраже-

ниях. Когда человек засыпает, эти пики снижаются до нуля, что позволяет отличить бодрствование от сна. Разработан алгоритм выделения сигналов кожно-гальванической реакции на фоне артефактов движения с использованием методов распознавания образов. Устойчивость алгоритма такова, что при подаче на вход “белого шума” поток ошибок (ложных кожно-гальванических реакций) составляет всего 10^{-9} ч⁻¹.

На этой основе создано устройство и разработан соответствующий алгоритм контроля состояния оператора транспортного средства. Это устройство позволяет определить, бодрствует ли человек и не уснёт ли он в течение ближайшей минуты, с вероятностью 0.9999. Используя научные разработки Института радиотехники и электроники РАН, фирма “Нейроком” создала телемеханическую систему контроля бодрствования машиниста. В России более 3 тыс. локомотивов оборудованы такой системой. За время её эксплуатации (более 15 лет) не зафиксировано ни одного случая аварии по причине засыпания машиниста. Сейчас ведётся разработка аналогичной системы для водителей-дальнобойщиков и автомобилистов. Хочется надеяться, что в недалёком будущем наша система будет такой же обязательной для водителей автомобилей, как привязные ремни.

Отмечу другое важное применение описанного способа контроля состояния человека – это непрерывный мониторинг глубины наркоза при хирургических операциях. Уровень наркоза удаётся держать на минимуме, который ещё обеспечивает нечувствительность пациента к боли.

В заключение ещё раз подчеркну: исследования, о которых я рассказывал, пока находятся в начальной стадии, впереди – большой фронт работ. Однако участие в них замечательных специалистов из Института нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко и ряда других организаций даёт нам надежду на успешное развитие радиоэлектронных методов изучения функционирования мозга.

Я благодарен Ю.Н. Барабаненкову, Э.Э. Годичу, В.В. Дементенко, А.Н. Коновалову, А.В. Корженевскому, А.Г. Литваку, Ю.В. Масленникову, А.Н. Матлашову, Ю.В. Обухову и В.А. Черепенину за любезное разрешение использовать результаты их работ и помощь в подготовке данного доклада.

МЕХАНИЗМЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МОЗГА

Член-корреспондент РАН С.В. Медведев

Как человек мыслит, что делает мозг, интересовало людей с глубокой древности. Первые работы по исследованию мозга написал александриец Герофил ещё в 320 г. до н.э. В своём труде “Анатомия” он одним из первых подробно описал нервную систему и внутренние органы человека. Герофил установил различие между связками, сухожилиями и нервами, которые, по его мнению, были продолжением белой субстанции спинного и головного мозга; проследил связь нервов с головным и спинным мозгом. Таким образом, он разграничил спинной мозг и костный, показав, что первый является продолжением головного мозга. Герофил подробно описал части головного мозга (особенно мозговые оболочки и желудочки), а также срединную борозду мозга.

Эразистрат (около 300–240 гг. до н.э.) производил вскрытия и вивисекции, способствовал развитию анатомических, в частности, патолого-анатомических и физиологических знаний. Впервые слово “мозг” как название введено в литературу Эразистратом. Он довольно полно описал макроскопическое строение головного мозга, указал на наличие мозговых извилин и отверстий между боковыми и третьими желудочками, которые впоследствии получили название монровых. Эразистрат описал мембрану, отделяющую мозжечок от мозга. Ему принадлежат и первые описания доли мозжечка (термин “мозжечок” он также употребил впервые), и разветвления нервов: он различал нервы двигательные и чувствительные.

Эразистрат первым высказал мысль, что душа (пневма) располагается в желудочках мозга, самым главным из которых он считал четвёртый. Кровь, протекающая через хориоидальные сплетения, приходит в соприкосновение с душой и перерабатывается в сознание. Это была первая в истории человечества психофизиологическая концепция объяснения механизма сознания, которая получила широкое распространение и существовала на протяжении Средних веков.

Почему же людей интересовал и интересует мозг человека? Одной из причин является то, что мозг – это связующий элемент между *материальным и идеальным*. Именно с помощью мозга наши мысли превращаются в дела.

Однако подлинно научное исследование физиологии мозга началось только в середине XIX столетия с клинко-анатомических сопоставлений, проведённых французом П. Брока и немцем К. Вернике. Они показали, что повреждение определённых областей мозга приводит к конкретным речевым нарушениям. Эти области мозга вошли в анатомию под их именами. Что касается физиологических исследований мозговой организации психической деятельности, то есть того, как мозг обеспечивает мышление, эмоции и т.п., то один из первых экспериментов в этой области был осуществлён итальянским учёным А. Моссом: “В его экспериментах испытуемый лежал на уравновешенном столе. Когда начиналась мыслительная или эмоциональная деятельность, голова перевешивала, что доказывало перераспределение

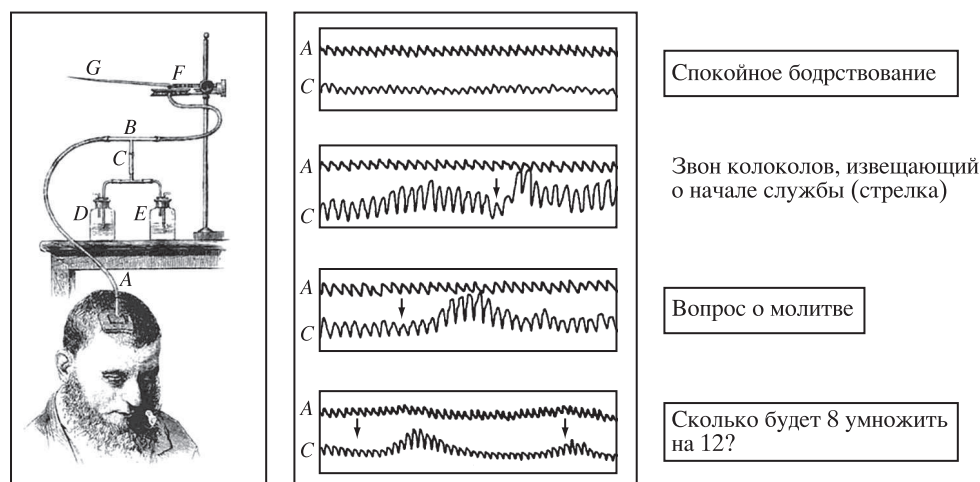


Рис. 1. Схема эксперимента А. Моссо по изучению мозгового обеспечения психики. 1870-е годы

У больного с дефектом черепной кости регистрировались пульсации сосудов мозга в спокойном состоянии и при проведении различных тестов. Стрелками отмечено начало эмоциональной и мыслительной деятельности

крови»*. В другом эксперименте у больного с отверстием в черепе регистрировалась пульсация сосудов мозга. В абсолютно современном по дизайну эксперименте было доказано, что изменения мозгового кровотока отражают психические явления** (рис. 1).

И всё же прорыв в исследовании мозгового обеспечения мыслительной деятельности произошёл значительно позже. Он был связан даже не с изобретением электроэнцефалографа (Г. Бергер), а с прямым контактом с мозгом человека при диагностике и лечении с помощью имплантированных электродов (1950–1960-е годы). У нас в стране этот метод первой применила академик Н.П. Бехтерева в 1962 г. Впервые информация получалась непосредственно из мозга – не со скальпа, а прямо из живой мозговой ткани. Подчеркиваю, всё это делалось исключительно по медицинским показаниям для лечения тяжёлых заболеваний.

Приведу результаты выполнения психологического задания, в ходе которого регистрировалась текущая частота нейронной активности. В мозге был обнаружен участок, нейроны которого реагировали увеличением текущей частоты разрядов в случае предъявления осмысленной грамматически правильной фразы, уменьшением частоты в случае предъявления осмысленной, но грамматически неверной фразы и не реагировали при предъявлении неосмысленных фраз. Фактически была выявлена группа нейронов – детекторов грамматической правильности осмысленной фразы. Такие достаточно тонкие аспекты обеспечения речи с очень точной степенью локализации удалось обнаружить с помощью этого метода.

* Цитируется по: *James W. Principles of Psychology*. N.Y., 1890. P. 98.

** Эксперимент описан в: *Posner M.I., Raichle M.E. Images of Mind*. N.Y.: Scientific American Library, 1994. P. 53–81.

Современные технические достижения резко усилили наши возможности исследования мозга человека. Используются позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), в том числе функциональная (фМРТ), магнитоэнцефалография (МЭГ), электроэнцефалография (ЭЭГ) и непосредственная запись с вживлённых электродов.

Современная ЭЭГ далеко ушла от того, что было даже 20 лет назад. С помощью множества электродов, современных методов обработки данных удалось увидеть, как очаг возбуждения (соответственно, деятельность мозга) перераспределяется в пространстве мозга с течением времени (рис. 2). Эти данные помогают понять, как мозг обрабатывает информацию.

Метод позитронно-эмиссионной томографии предоставил огромные возможности для нейровизуализации как отдельных органов, так и реакций на уровне молекул (биохимия мозга). А поскольку весь мозг, вся его деятельность – это биохимия, то ПЭТ может исследовать практически любую физиологическую функцию. Суть метода заключается в высокoeffективном слежении за распределением в мозге радиоактивного изотопа, являющегося частью молекулы вещества, поведение которого изучается в мозге. В частности, при картировании психических функций используется меченная радиоактивным кислородом-15 вода. С её помощью можно исследовать локальный мозговой кровоток, который, как было показано ещё очень давно, отражает активацию нейронов при обеспечении мыслительной деятельности.

Ровно то же самое, то есть мозговой кровоток, исследует функциональный магнитно-резонансный томограф, который, в отличие от обычного МРТ, позволяющего изучать анатомию мозга, исследует функции мозга. Эти приборы достаточно большие: вес ПЭТ-комплекса превышает 50 т. Он включает циклотрон, радиохимическую лабораторию, которая определяет, что мы можем исследовать, какую биохимическую функцию мозга, и сканер для получения изображений. Чуть меньше по размерам, но тоже достаточно большой магнитно-резонансный томограф 3-тесловый. Магнитные поля больше 3 Тл в клинике использовать не рекомендуется. Это физиологический предел для человека.

Принцип построения изображения позитронно-эмиссионным и магнитно-резонансным томографами следующий. Осуществляются два скана –

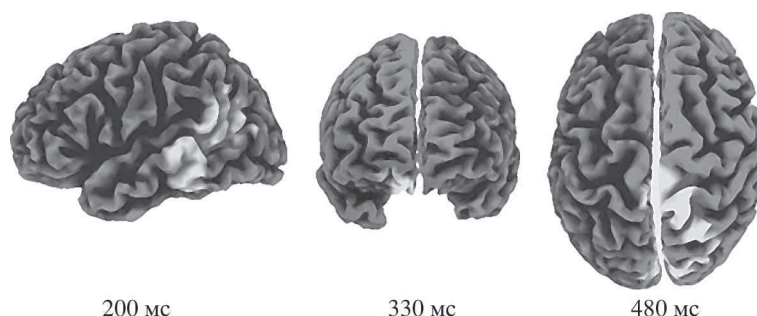


Рис. 2. Точное картирование электрической активности коры головного мозга с помощью электроэнцефалографа (данные Института мозга человека РАН)

На трёх различных проекциях мозга можно видеть, как очаги возбуждения (светлые участки) перемещаются в процессе мыслительной деятельности

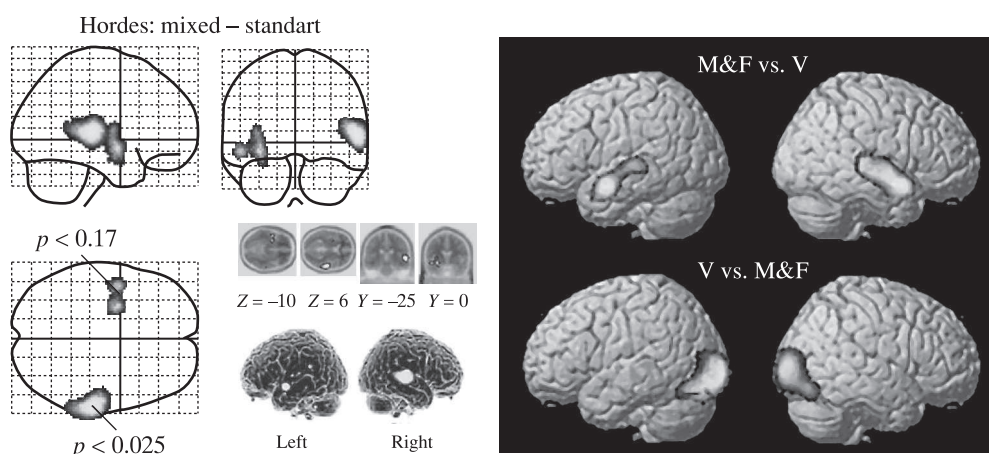


Рис. 3. Активизация различных участков мозга, зарегистрированная позитронно-эмиссионным томографом (данные Института мозга человека РАН)

Слева – непроизвольное внимание к стандартным и девиантным аккордам (негативность рассогласования); справа – селективное внимание к слуховым (вверху) и зрительным (внизу) стимулам

выполнение задания и контрольная деятельность, далее строится их разность, производится усреднение по группе испытуемых и статистическая оценка. При этом выявляются области мозга, активирующиеся при выполнении именно исследуемой деятельности. Результаты ПЭТ-исследований приведены на рисунке 3. Видно, как активируется мозг при непроизвольном внимании, когда мы замечаем неожиданное изменение звукового фона (рис. 3, слева). Например, мы не обращаем внимания на звук двигателя, пока не появился какой-то странный шум. Это так называемая негативность рассогласования (о ней пойдёт речь ниже). Можно проследить за тем, что происходит в мозге, когда мы обращаем внимание на слуховые (рис. 3, справа, вверху) или зрительные (рис. 3, справа, внизу) стимулы. Примеры активации мозга, зарегистрированные магнитно-резонансным томографом, даны на рисунке 4. Подчеркну, что и позитронно-эмиссионная, и магнитно-резонансная томография измеряют один и тот же физический процесс – мозговой кровоток.

Установлено, что позитивные и негативные эмоции меняют состояние некоторых зон мозга. И мы видим разницу между покоем и позитивной эмоцией, покоем и негативной эмоцией, но не отличаем позитивную эмоцию от негативной. Это означает, что на самом деле развитие положительной и отрицательной эмоции – результат работы одних и тех же областей мозга. Таким образом, с помощью ПЭТ показано, что одни и те же области мозга обеспечивают и положительные, и отрицательные эмоции.

Метод ПЭТ позволил получить большой объём данных о распределении в мозге зон, причастных к мозговому обеспечению речи. Определены области, где происходит обработка семантики, синтаксиса, орфографии, грамматики и т.п.

В экспериментах по исследованию мозгового обеспечения селективного внимания (внимание, необходимое при разговоре с собеседником на фоне многих других разговоров, так называемый эффект вечеринки) испытуемому

одновременно в оба уха читались разные рассказы и перед его глазами располагался экран, где предъявлялся третий рассказ. И сравнивалось, что происходит, когда внимание испытуемого направлено на рассказ, который идёт через звук, подаваемый на левое ухо, и одновременно ему требовалось обращать внимание на рассказ на экране. Была обнаружена активация в слуховой коре, что понятно при внимании к слуховым стимулам, но и активация зрительной коры оказалась больше при внимании к слуховым стимулам, чем к зрительным.

Почему вдруг зрительный аппарат активируется больше при слуховом внимании, а не при зрительном? Такая ситуация удивляла нейрофизиологов в течение пяти лет. Её удалось разрешить только после исследования этого процесса двумя разными методами – ПЭТ и ЭЭГ. Вместе с членом-корреспондентом РАН А.М. Иваницким мы смогли доказать, что необъяснимая активация зрительной коры при слуховом внимании – результат запрета выдачи на уровень сознания принципиально важной информации. Этот вывод сделан на основе латентности (времени возникновения) затылочной активации: она происходит именно тогда, когда распознанная зрительная информация должна выдаваться на уровень сознания. Дело в том, что информация, которая приходит по зрительному каналу, обычно приоритетнее информации, получаемой по слуховому каналу. Поскольку первую запрещено воспринимать, то фактически работа идёт в нештатном режиме, что и приводит к большей активации зрительной коры. Таким образом, проводя исследования методом позитронно-эмиссионной томографии, мы получаем ответ на вопрос, *где* находится что-то, так как метод хорошо локализует реакцию. А с помощью ЭЭГ мы получаем ответ на вопрос, *что* происходит в этих областях (рис. 5).

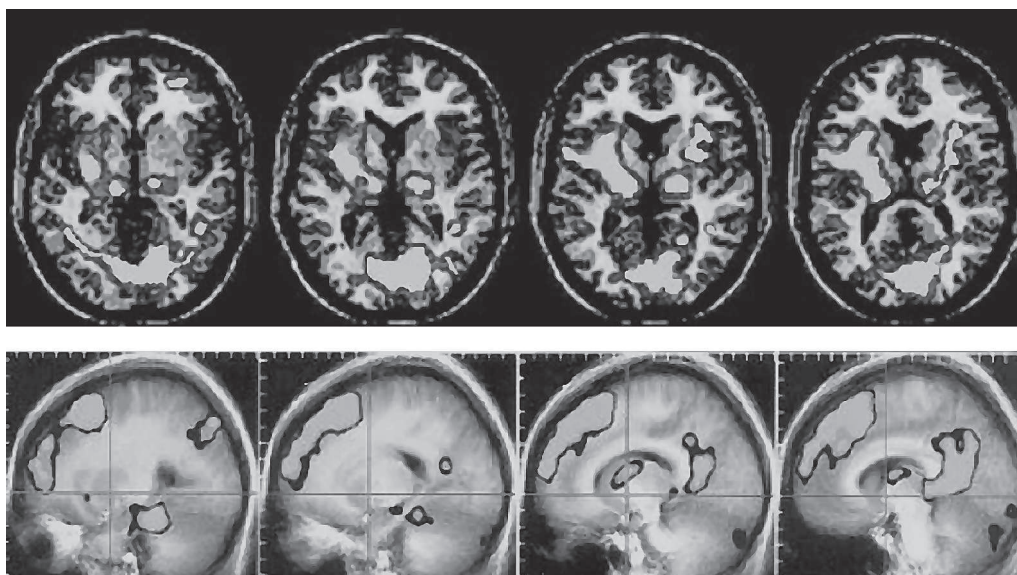


Рис. 4. Активизация различных участков мозга, зарегистрированная магнитно-резонансным томографом (данные Института мозга человека РАН)

Активизация при моторном обучении (вверху) и на различные аспекты речи (внизу)

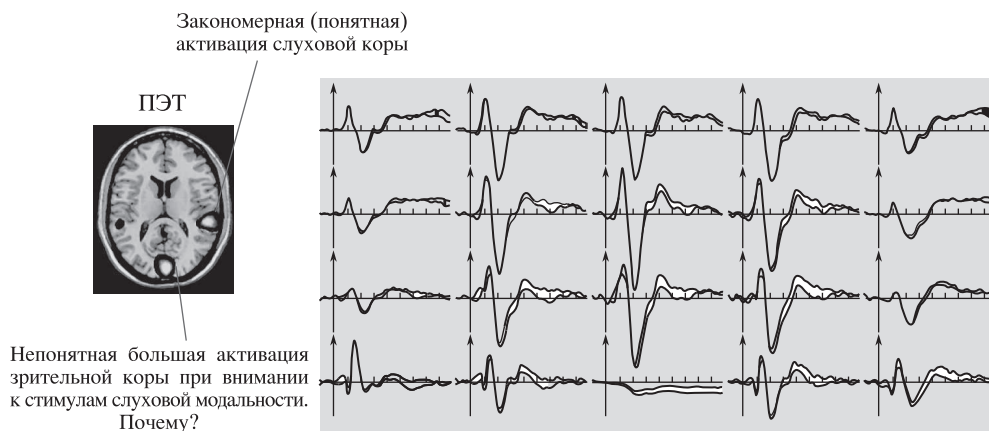


Рис. 5. Результаты совместных исследований селективного внимания методами позитронно-эмиссионной томографии и электроэнцефалографии

Слева – позитронно-эмиссионная томография коры головного мозга, справа – вызванные потенциалы, зарегистрированные электроэнцефалографом

Однако далеко не всегда совместные ПЭТ- и ЭЭГ-исследования так просто интерпретировать. Часто эти исследования лишь дополняют друг друга. Например, мы видим локализованную реакцию на позитронно-эмиссионном томографе и распределённую по коре мозга электрическую активность на электроэнцефалографе. Сочетание различных методов резко повышает информативность.

Если говорить о механизмах, регулирующих работу мозга, что более важно, то необходимо получить ответ не на вопросы, где находится и что происходит, а на вопросы, *почему* происходит и *как* работает механизм, регулирующий работу мозга. Один из основных регулирующих механизмов мозга – “детектор ошибок” – открыт в 1968 г. Н.П. Бехтеревой и В.Б. Гречинным. Они установили, что когда больной, которого лечили с помощью вживлённых электродов, делал ошибку, выполняя психологическое задание, то возникал определённый повторяющийся сигнал, заключающийся в изменении локального мозгового кровотока в некоторых областях мозга (рис. 6, в рамке). Другими словами, при ошибке возникал сигнал, сообщающий об этом мозгу. Вот такой механизм – замечать неосознанную ошибку – и был назван “детектором ошибок”. Во второй раз его открыл в 1978 г. Р. Наатанен, иностранный член Российской академии наук.

Суть открытия заключается в том, что вы не обращаете внимания на фоновые звуки, пока они одинаковые, но как только происходит изменение, вы их сразу замечаете. Например, когда вы ведёте машину, вы не слышите звука двигателя, однако стоит двигателю застучать или как-то не так себя повести, вы тут же отметите: что-то не то. Почему это происходит?

Для большинства видов нашей деятельности существуют некие стандарты их выполнения, так называемая матрица стандартов. “Детектор ошибок” обеспечивает мониторинг отклонений от стандартов, подавая сигнал – “ошибка”. Сегодня утром, выполняя рутинные действия – чистка зубов, мытьё рук, бритьё – я думал о том, как буду выступать на нашем собрании. Именно за

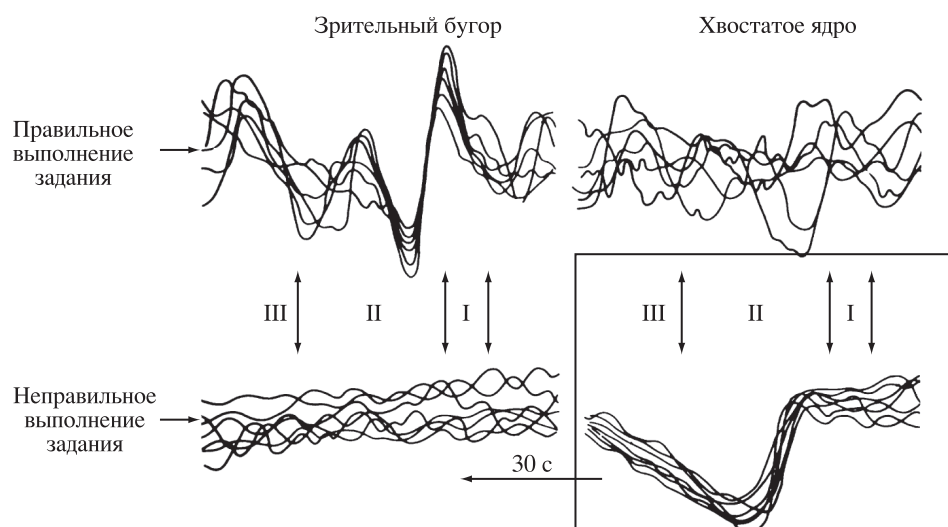


Рис. 6. Реакция на рассогласование реальных событий со стереотипом
I – задание, II – удержание в памяти, III – ответ; в рамке – сигнал “детектор ошибок”

счёт работы “детектора ошибок”, совершая рутинные действия, вы можете думать о более важных вещах. Детектор продолжает работать даже у человека, который находится без сознания, в коме, то есть действует независимо от нашего сознания и контролирует фактически всю нашу деятельность. Его поломка приводит к очень серьёзным нарушениям работы не только мозга, но и организма, в частности к навязчивым состояниям. Таким заболеванием страдал миллиардер Говард Хьюз, который патологически боялся микробов. Навязчивым состоянием является психологическая зависимость от наркотиков, которую практически невозможно разрушить именно потому, что “детектор ошибок” – это базовый механизм мозга.

Естественен вопрос: можно ли регулировать этот механизм? Можно ли целенаправленно вмешиваться в работу “детектора ошибок”?

Мы попытались выяснить, что происходит, когда ошибка делается сознательно, то есть когда человек лжёт. Для того чтобы исследовать этот процесс, мы предложили испытуемому играть с компьютером. В игре, например в карты, человек должен и говорить правду, и обманывать партнёра. Реакции испытуемого исследовались с помощью ЭЭГ и ПЭТ. Оказалось, что в мозге возникает реакция, сообщающая о том, что ответ ложный, хотя ложность ответа выгодна человеку, и он о ней и так знает. С помощью ПЭТ мы показали, что источник этой реакции – передняя часть поясной извилины мозга – место, где как уже известно, локализована большая часть “детекторов ошибок”.

Итак, при сознательной лжи тем не менее активируется “детектор ошибок”. Даже при выгодной лжи “детектор ошибок” сообщает о беспорядке. Зачем это нужно? Как минимум, для того, чтобы человек не поверил в собственную ложь, чтобы он отдавал отчёт в своём обмане и не пошёл бы туда, куда зовёт других.

Основываясь на эксперименте, можно сделать вывод, что сознательно блокировать “детектор ошибок” невозможно. Неудивительно, что все методы

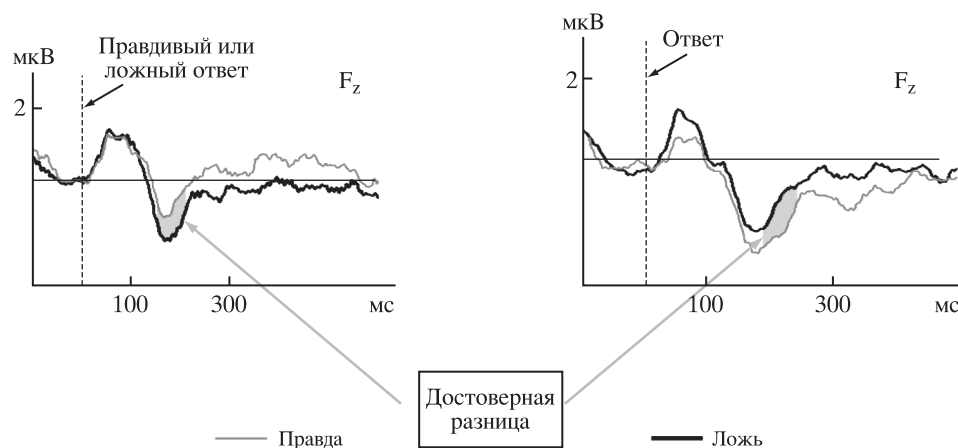


Рис. 7. Реакция на ложь в норме (слева) и после приёма алкоголя (справа)

Алкоголь инвертирует реакцию, то есть соврать становится легче, чем сказать правду; F_z – центральный лобный электрод

лечения наркоманов, основанные на обращении к их сознательности, на убеждении, не действуют: невозможно модифицировать базовый механизм мозга с помощью сознания и убеждения. Из этих рассуждений вытекает интересная идея о создании “детектора лжи”, который нельзя обмануть. Если мы начнём следить за реакциями непосредственно в мозге, а такое возможно с помощью оптической томографии, то можно создать прибор, который будет определять, правду ли говорит ваш визави или неправду.

И всё-таки, можно ли управлять работой “детектора ошибок”? Первое, что приходит в голову, когда думаешь о воздействии на мозг и поведение человека, – это алкоголь. Испытуемому даётся грамм водки на килограмм веса за 20 минут перед исследованием. Затем ему предлагают играть с компьютером. Оказалось, что алкоголь инвертирует реакцию: если в норме реакция на ложь более высокоамплитудна, чем реакция на правдивый ответ, то после алкоголя соотношение меняется (рис. 7). Реакция на ложь меньше, чем реакция на правду, то есть ложь становится предпочтительнее правды. Именно поэтому выпивший человек с лёгкостью говорит о всяких фантазиях. Это означает, что работой “детектора ошибок” можно управлять.

Сделанный нами вывод имеет важное практическое значение. При вождении машины после малой дозы алкоголя сознательное действие выполняется даже лучше, чем без алкоголя, но автоматическая реакция, когда машину заносит, будет именно неправильной. “Детектор ошибок”, который контролирует эту реакцию, подскажет водителю неверное действие.

Мы очень часто забываем, что мозг человека – лишь часть его тела. Существует сильное влияние мозга на тело и обратное влияние тела на мозг. Известно, что перенапряжение мозга часто приводит к заболеваниям и, наоборот, даже лёгкий насморк может спутать ход мыслей (вспомните Наполеона при Ватерлоо). Существуют также действия, противные человеческому мозгу. Однако, в отличие от просто устроенного компьютера, мозг не останавливает процесс, а всё же пытается выполнить задачу, часто ценой ухода в невроз.

Мозг чрезвычайно устойчив. Известен случай, когда человек не только выжил, но и довольно долго жил после того, как в результате несчастного случая его мозг был пронзён ломом. Отмечалось лишь, что человек стал сварлив.

Устойчивость мозга обусловлена тем, что эта система *гибкая, динамичная, распределённая*. Система гибкая, поскольку формируется в процессе взросления и развития человека, возможна её направленная модификация. Система динамичная, так как меняется каждый раз при повторном выполнении задачи. Система распределённая, ибо высшие функции обеспечиваются нейронами, находящимися в удалённых областях и уже занятыми осуществлением других функций, то есть полифункциональными нейронами.

Количество связей между нейронами мозга огромно. Метод диффузной трактографии (метод МРТ определения связей между анатомическими участками мозга) позволяет выявить связи между различными структурами мозга, причём не только крупные связи, но множество мелких соединений. При чтении слов, предложений и рассказов возникает всё более и более усложнённая система связей (рис. 8). Можно проследить, как меняется система в процессе взросления человека, как она минимизируется. Понятно, почему детям нельзя давать слишком рано сложные задачи: система ещё не созрела для их решения. И если мы будем требовать, чтобы мозг делал и одну, и другую деятельность, не будучи готовым к этому, то он оба вида деятельности будет осуществлять неоптимально.

В настоящее время показано, что каждому психическому явлению соответствуют вполне определённые перестройки в активности клеток мозга — нейронов и связей между ними. Систему можно искусственно модифицировать, например, тренировка приводит к модификации функциональной организации активности зон мозга, обеспечивающих определённые действия. Можно целенаправленно менять мозговые системы. Путём биорегулирования удалось модифицировать систему концентрации внимания, которая не развита у детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивностью. В модифицированной системе это заболевание существенно менее выражено.

Мы можем заново направленно формировать утраченные при травме функции мозга, например речь, создавая в неповреждённых зонах элементы мозговых систем, выполняющих утраченные функции. Это делается с помощью прямой электростимуляции мозга. Электростимуляция соседней с травмированной области мозга приводит к появлению в нейронной активности реакций на речевую задачу.

Мозговую систему можно модифицировать и по-другому. Известно, что определённый ритм вызывает выброс конкретных веществ, оказывающих влияние на поведение человека. Значит, можно написать музыку, и эта музыка заставит людей рваться в бой, едва они услышат марш. Используя химические вещества, феромоны, удаётся воздействовать на определённые структуры мозга и вызывать искусственно даже такие чувства, как любовь или нелюбовь. Мы уже раскрыли механизм действия приворотных и отворотных зелий.

Я рассказал, чего мы достигли. Однако появились трудности, и серьёзные. Дело в том, что чем более интимные виды деятельности мы исследуем, например творчество, тем хуже воспроизводимость, потому что каждый раз



Рис. 8. Динамическая организация функциональных связей между различными областями мозга

По мере усложнения умственной деятельности (сверху вниз: чтение слов, предложений, рассказов) функциональные связи становятся всё более разветвлёнными

система изменяется по-новому. Потенциал статистики, который мы используем в настоящее время, практически исчерпан, и нужны новые подходы, которые будут учитывать изменчивость реакций.

Функции многих зон мозга заданы анатомически – движение, чувствительность, болевая чувствительность и т.д. По мере развития человека на ту или иную зону накладывается обязанность обеспечения и других функций – это романтическая любовь, артикуляция, синтаксис, фонетика и т.д. Важно, что одни и те же нейроны участвуют в обеспечении и движений, и, скажем, романтической любви. Стимуляция этих нейронов вызывает активацию нескольких функций. У человека мозговая система складывается быстро и экономично, и когда он выполняет обыденную деятельность, действует малое количество нейронов. Однако есть вид деятельности, который вовлекает весь мозг, – это творчество. При активной мыслительной деятельности, творческой деятельности происходит активация больших областей мозга, а следовательно, и всех других систем орга-

низма, что приводит к их более долгому функционированию, то есть умные живут дольше.

Я уже упоминал о матрице стандартов, регулирующей работу “детектора ошибок”. Она развивается со временем. У ребёнка она не развита – именно этим объясняется его бурная фантазия. По мере взросления человек обрывает ограничения или самоограничения. С увеличением продолжительности жизни, особенно в развитых странах, где люди живут больше 80 лет, это может привести к серьёзным изменениям в обществе. Чтобы их предотвратить, необходимы исследования коррекции “детектора ошибок”. Человек с возрастом не должен становиться всё менее смелым и у него не должно быть больших ограничений в творчестве.

В заключение подведу итог сказанному.

- Современные методы исследований позволили совершить прорыв в изучении мозга. Чрезвычайно важно исследовать механизмы его работы современными методами.

- Существует мощная управляющая система мозга – “детектор ошибок”. Его работой, как и работой систем мозга, можно управлять.

- Материальность мозга как органа, обеспечивающего мышление, и одновременно как части организма налагает достаточно строгие ограничения

на процесс мышления. Пренебрежение ими приводит к неврозам и срывам, несмотря на колоссальную устойчивость мозга.

- Активная творческая деятельность за счёт полифункциональности нейронов стимулирует все системы организма.

Мы вплотную подошли к рубежу, где наши методы изучения мозга становятся неприменимыми. Нужны новые методы анализа (в частности, отказ от усреднения по времени или по группе), позволяющие максимально “физиологично” исследовать мозг. Для этого в первую очередь необходимо развивать сотрудничество с институтами, создающими не новые конкретные методы, а новые подходы к обработке сигналов.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В ИССЛЕДОВАНИИ ФУНКЦИЙ МОЗГА И ПСИХИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Доктор биологических наук Е.И. Рогаев

Геном и мозг. В последние годы достигнуты значительные успехи в обнаружении генов, ответственных за развитие центральной нервной системы (ЦНС) и мозга, а также некоторых моногенных патологий, особенно нейродегенеративных заболеваний человека. Исследования взаимодействия комплексов генов или генов и среды при формировании того или иного фенотипа, в частности, особенностей психики и поведения, находятся в самом начале своего развития (рис. 1).

Одним из неожиданных результатов реализации проекта по секвенированию генома человека стало обнаружение того, что число генов, кодирующих белки у человека, значительно меньше (<24 000–30 000), чем ожидалось (>100 000). Более того, число таких генов не отражает сложность организма. Так, число генов у сравнительно простого беспозвоночного почвенного червя *Caenorhabditis elegans* больше, чем у *Drosophila melanogaster*, и близко к числу генов у человека. Большая часть генома человека (>90–95%) представлена некодирующими последовательностями ДНК. Детальные исследования транскрипционной активности генома показали, что значительная доля некодирующих геномных последовательностей транскрибируется, и существует целый ряд семейств РНК (многие из которых ещё неохарактеризованы) с возможными регуляторными функциями. Наиболее активно исследуемым в настоящее время классом таких РНК является микроРНК. Многие её гены экспрессируются в мозге. Какие гены ответственны за увеличение размеров головного мозга в недавней эволюции человека и принципиальные изменения фенотипа, связанные с развитием высшей нервной деятельности и поведения у *Homo sapiens*? На этот вопрос в какой-то степени можно ответить, используя два направления исследований: сравнительные эволюционные исследования структуры и экспрессии генов человека и приматов; исследование генетических патологий ЦНС и мозга человека.

Гены для большинства болезней с моногенным типом наследования были выявлены путём реализации стратегий позиционного клонирования

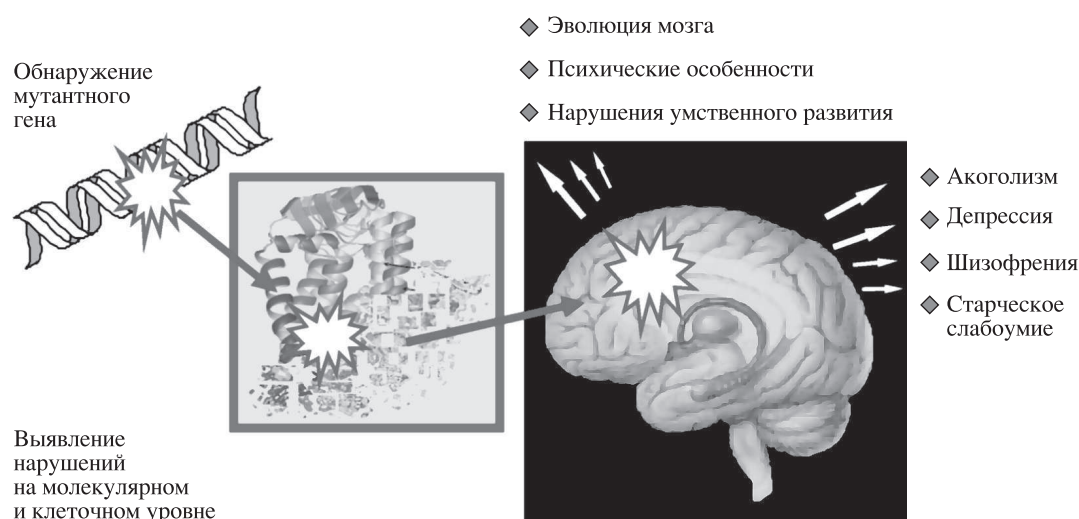


Рис. 1. Поиск молекулярных механизмов нейropsychических заболеваний

и методов генетического сцепления и картирования с помощью полиморфных маркеров ДНК. Человек характеризуется целым рядом специфических фенотипов, включая ряд болезней, в частности, предрасположенность к определённым видам эпителиального рака или инфекциям (ВИЧ). Весьма значительные отличия связаны с развитием необычно большого мозга, и в особенности неокортекса, с наличием бипедализма и с проявлением когнитивных и поведенческих адаптивных способностей. Это обуславливает также предрасположенность человека к особым нейродегенеративным (болезнь Альцгеймера) или психическим заболеваниям (шизофрения).

Одной из наиболее интересных и давних гипотез является представление о задержке в онтогенетическом развитии человека (неотения) по сравнению с высшими обезьянами, например, ближайшим родственником человека – шимпанзе. В какой-то степени данная гипотеза получила подтверждение на основе недавних молекулярных исследований транскрипции генов. В исследовании профилей экспрессии генов в образцах неокортекса человека, шимпанзе и макаки резус был обнаружен определённый “неотенический” сдвиг в экспрессии ряда генов у человека, особенно в сером веществе префронтального кортекса. Интересно, что при этом общая траектория изменения экспрессии генов с возрастом была сходна у человека, шимпанзе и даже мыши, что свидетельствует о консервативном механизме “старения” мозга. В более ранних работах с использованием анализа экспрессии генов на микрочипах было продемонстрировано, что существует тенденция к повышенной экспрессии многих генов (возможно, до 50% генов) в разных тканях у человека по сравнению с шимпанзе. В то же время следует подчеркнуть, что большинство данных получены с использованием методологии гибридизации тотального “пула” транскриптов (конвертированных в кДНК), выделенных из постмортального материала, с микрочипами, содержащими пробы (олигонуклеотиды) на все гены человека. Существует целый ряд методологических факторов, влияющих на корректность сравнительной количественной оценки

широких геномных анализов экспрессии генов на микрочипах. Наиболее перспективным и точным методом в исследованиях будут, безусловно, технологии множественного параллельного секвенирования транскриптов с использованием платформ для глубокого секвенирования (например, SOLID (ABI) или Illumina).

Хотя в среднем число различий на нуклеотид при сравнении геномов человека и шимпанзе сравнительно невелико. По всей видимости, не менее 20% генов обуславливают замены, влияющие на структуру белков, кодируемых этими генами [1]. При этом существует несколько сотен генов, которые, вероятно, подвергались позитивной селекции в недавней эволюции в предковой линии человека после её расхождения с предковой линией шимпанзе. К наиболее интересным в этом плане относятся гены, мутации которых ведут также к патологии функций или структуры мозга. Так, мутации в гене транскрипционного фактора FOXP2 вызывают нарушения в понимании речи и грамматики [2]. Мутации в ряде других генов ведут к уменьшению размера мозга (микроцефалии).

Микроцефалия. В норме человек имеет мозг в 3 раза большего размера, чем следовало бы ожидать, исходя из пропорций тела, характерных для других приматов. Микроцефалия – патология, характеризующаяся малым размером головы с редуцированной затылочно-височной окружностью более чем в 2 раза по сравнению с нормой. Частота несиндромальной генетической формы микроцефалии, наследуемой по аутосомно-рецессивному типу, варьирует от одного случая на миллион рождений в европейских странах до 1 : 10 000 в странах с распространёнными близкородственными браками. Выявлены экспрессирующиеся в процессе нейрогенеза гены, инактивация которых ведёт к врождённому уменьшению размера мозга – первичной микроцефалии. Наиболее частой причиной первичной микроцефалии (более 40% случаев) являются нарушения функций гена *ASPM* [3]. Как ген *ASPM*, так и два других гена, ассоциированных с микроцефалией, – *CDK5RAP2* и *CENPJ*, – кодируют белки митотического веретена. Продукт ещё одного гена – *MCPH1*, микроцефалин-1, участвует в конденсации ДНК во время митоза. Таким образом, все четыре гена участвуют в контроле клеточного цикла и регуляции пролиферации предшественников нейронов в эмбриогенезе – клеточных процессов, влияющих на рост мозга. Хотя эти гены экспрессируются и вне мозга, их инактивация ведёт к значительным изменениям только в мозге и практически не затрагивает другие органы. Предполагается, что некоторые однонуклеотидные замены в регуляторных участках этих генов имеют по-специфичную ассоциацию с вариациями структуры коры и объёма мозга.

Сравнение структуры генов микроцефалии с гомологичными генами шимпанзе и других приматов и более широкие сравнительные исследования геномов показали, что у приматов эволюция этих генов была ускорена, особенно значимые изменения появились в процессе антропогенеза, после дивергенции линий человека и шимпанзе. Полученные данные свидетельствуют в пользу ранее высказанной гипотезы о том, что увеличение в процессе эволюции размера мозга у приматов и человека обусловлено увеличением числа делений клеток предшественников нейронов в процессе нейрогенеза.

Помимо генов, непосредственно влияющих на пролиферацию нейронов, эволюционные изменения в других генах также могли способствовать уве-

личению размеров мозга. Так, предполагается, что утрата в линии человека функций гена *MYH16*, кодирующего тяжёлую цепь миозина и экспрессирующегося у негоминоидных приматов в жевательных и некоторых других мышцах, могла быть связана с редукцией жевательной мускулатуры в процессе гоминизации, что сняло ограничения на изменение пропорций черепа.

Генетические факторы болезни Альцгеймера. По оценкам ВОЗ, около 0.38% мирового населения страдали деменцией в 2005 г. Деменция – это синдром, характеризующийся органическим поражением головного мозга и сопровождающийся когнитивными расстройствами. Основными причинами деменций являются болезнь Альцгеймера и сосудистые поражения головного мозга (сосудистая деменция).

При болезни Альцгеймера (БА) в течение 2–15 лет неуклонно прогрессирует нейродегенерация, наблюдается ухудшение памяти и снижение интеллекта. Болезнь неминуемо ведёт к смерти больного, и до сих пор не найдены лекарственные препараты, позволяющие предотвратить или излечить это заболевание. Гистопатологически БА характеризуется накоплениями сенильных бляшек (отложений труднорастворимого белка амилоида) и образованием внутриклеточных нейрофибриллярных клубков, что сопровождается массовой гибелью нейронов в ряде структур головного мозга. Современные классификации выделяют раннюю форму БА с началом заболевания до 65 лет и позднюю (сенильную) форму, развивающуюся после 65 лет. Важную роль в изучении молекулярных основ развития БА играет сравнительный генетический анализ клинического материала, полученного от пациентов с данным заболеванием и здоровых индивидов. В молекулярно-генетических исследованиях БА успешно использовались три стратегии выявления генов наследственных патологий: функциональное клонирование, поиск и анализ генов-кандидатов развития этого заболевания, а также позиционное клонирование (обзор [4]).

К настоящему времени определено три ключевых гена, мутации в которых приводят к развитию БА. Эти гены кодируют белок амилоидного предшественника (*APP*), пресенилина 1 (*PS1*), пресенилина 2 (*PS2*) [4–6]. Формы БА, вызываемые мутациями в этих генах, характеризуются ранним началом заболевания и агрессивным течением. Мутации в ключевых генах БА приводят к развитию заболевания с высокой степенью пенетрантности – вероятность развития БА в возрасте до 65 лет составляет >90–99%. На сегодняшний день известно более 30 мутаций в гене *APP*, около 180 мутаций в гене *PS1* и 14 мутаций в гене *PS2*, вызывающих БА (все они представлены в базе данных по мутациям в генах БА). При изучении функции белков БА было показано, что пресенилины (*PS1* и *PS2*) являются необычными интрамембранными протеазами, осуществляющими протеолиз трансмембранного домена белка *APP*. Мутации в генах *APP*, *PS1* и *PS2* вызывают повышенное образование труднорастворимого белка β -амилоида, кодируемого геном *APP*, что приводит к накоплению амилоидных бляшек и развитию заболевания. Обнаружение генов БА считается главным достижением “Декады мозга”, проводившейся обществом нейронаук под эгидой ЮНЕСКО. Недавно мы идентифицировали новое семейство белков ИМПАС, структурно и функционально схожих с пресенилинами, и показали, что они играют важную роль в процессах развития организма [4, 7]. В модели почвенной нематоды

C. elegans ингибирование функций гена *Ce-imp-2*, кодирующего один из белков этого семейства, приводило к нарушению процессов нормальной линьки, обмена липидов и гибели личинки (рис. 2) [4]. Нарушения в генах, ответственных за липидзависимую сигнальную трансдукцию, нередко приводит к врождённым патологиям развития мозга у модельных животных (мышей) или у человека.

Среди множества генов предрасположенности к развитию БА, выявленных в результате исследований ассоциаций полиморфизмов в генах-кандидатах при сравнении групп пациентов и контрольных выборок, на сегодняшний день полиморфизм только в одном гене – гене аполипопротеина Е (*APOE*) – является общепризнанным фактором риска БА. Большая часть других генетических факторов развития БА подтверждалась только в единичных популяциях или являлась результатом “эффекта минорного аллеля” в ограниченной популяционной выборке. Аполипопротеин Е – белок, играющий важную роль в метаболизме и транспорте липидов, в частности, в поддержании обмена холестерина. Белок *APOE* также входит в состав сенильных бляшек и нейрофибриллярных клубков при БА. Во многих независимых исследованиях подтверждено, что аллель $\epsilon 4$ гена *APOE* у больных с поздней формой БА встречается чаще, чем у людей пожилого возраста без признаков деменций, но в то же время отмечено, что в некоторых этнических группах такая ассоциация была выражена слабо или отсутствовала (например, в испано-латиноамериканских, афро-американских и восточно-африканских популяциях). В наших исследованиях российских популяций была показана чётко выраженная ассоциация *APOE* $\epsilon 4$ с риском развития БА [8]. В отношении аллеля $\epsilon 2$ предполагается, что этот аллель обладает протективными свойствами. Показано, что аллель $\epsilon 2$ гена *APOE* ассоциирован с пониженным риском развития поздней формы БА [4].

Кроме того, при исследовании генетических факторов развития БА в некоторых (в большинстве случаев единичных) популяциях выявлено более 20 генов, полиморфизм в которых ассоциирован с той или иной формой БА. В 2009 г. в журнале “Nature Genetics” были опубликованы результаты двух независимых исследований по полногеномному поиску полиморфизмов, ассоциированных с БА, на обширных популяционных выборках. Наряду с уже известным локусом гена *APOE* было показано, что полиморфные варианты генов аполипопротеина J (*APOJ* или *CLU*), клатрина *PICALM* и рецептора комплемента *CR1* также могут быть связаны с повышенным риском развития заболевания. Однако эти новые данные требуют подтверждения в дальнейших исследованиях.

Важным направлением изучения молекулярных факторов риска психических заболеваний является поиск вариаций нового типа – варьирующего числа копий генов в геноме. Так, в ряде работ было показано, что к развитию ранней и редкой формы болезни Альцгеймера (с амилоидной ангиопатией) приводит увеличение дозы гена *APP* за счёт дупликации участка 21 хромосомы, содержащего данный ген [9].

Несмотря на значительные успехи в открытии генетических маркеров, ассоциированных с развитием болезни Альцгеймера, поиск с помощью новых технологий локусов и генов предрасположенности к развитию этой болезни, их полиморфизма, а также анализ расширенных выборок пациентов



Рис. 2. Нарушение развития у нематоды *C. elegans*

Неполное сбрасывание кутикулы при ингибировании гена *Ce-imp-2* с помощью РНК-интерференции (а), недостатке холестерина в среде (б), ингибировании (г) или отсутствии (в) гена холестериновой системы регуляции (*Ce-lrp-1*)

и здоровых индивидов различных популяций остаётся актуальной задачей. Выявление генов, вовлечённых в развитие патологического процесса при болезни Альцгеймера, позволит понять молекулярные механизмы нарушения функций мозга и выявить молекулярные мишени для разработки новых терапевтических подходов.

Гены, влияющие на поведение. Одним из наиболее ярких примеров генетических факторов, влияющих на поведение, является расположенный на X-хромосоме ген моноаминоксидазы А (*MAOA*), мутации в котором связывают с проявлениями агрессии. В 1993 г. в Нидерландах была описана большая семья, мужчины которой отличались агрессивным поведением и умеренной формой умственной отсталости [10]. У них было выявлено отсутствие активности фермента моноаминоксидазы А и понижение содержание ряда *MAOA*-продуктов, в частности 5-гидроксииндолацетиловой кислоты (метаболита серотонина). Исследование мышей с делецией гена *MAOA* также показало, что взрослые самцы, гемизиготные по делеции гена *MAOA*, вели себя чрезвычайно агрессивно по сравнению с контрольными особями [11]. У *MAOA* нокаутных животных, экспрессирующих *MAOA* трансген в переднем мозге или прошедших терапию кетансерином (блокатором серотонинового рецептора 5HT₂), восстанавливалось нормальное поведение. У людей известен полиморфизм в промоторе гена *MAOA*, который снижает активность транскрипции данного гена. Были получены данные о том, что у мальчиков, имевших пониженный уровень активности гена *MAOA*, пережитый в раннем возрасте стресс чаще провоцировал последующее агрессивное поведение, чем в контрольной группе. Выявление генов и генетических полиморфизмов, которые могут быть ответственны за индивидуальные особенности поведения, включая агрессию, требует дальнейших более глубоких исследований с привлечением более обширных популяционных выборок.

Шизофрения – комплексное заболевание, которому подвержено около 1% населения во всём мире, является одной из 10 ведущих причин потери работоспособности. Клинические проявления шизофрении включают в себя расстройство мышления, мании, галлюцинации, притупление эмоций. Точные механизмы и причины, вызывающие шизофрению, до сих пор неизвестны.

Ряд исследований выявил факторы среды, повышающие риск развития шизофрении. Среди них – пренатальные инфекции, осложнения при беременности и родах, инфекционные заболевания центральной нервной системы, сезонность и место рождения, социальные факторы, такие как неблагополучие семьи и плохие условия жизни. Близнецовые исследования указывают на явную наследственную обусловленность заболевания. Так, риск развития шизофрении у родственников больного составляет для гомозиготных близнецов 48%, гетерозиготных близнецов – 17%, у родственников второго колена – 2–6%, тогда как в общей популяции – 1%. Таким образом, шизофрения – мультифакториальное заболевание, в большинстве случаев проявляющееся в результате взаимодействия генетических факторов и определённых условий внешней среды.

Исследования генетических факторов риска развития шизофрении включают в себя ряд подходов (рис. 3). Широко используемые методы анализа генетического сцепления позволили выявить большое количество локусов и

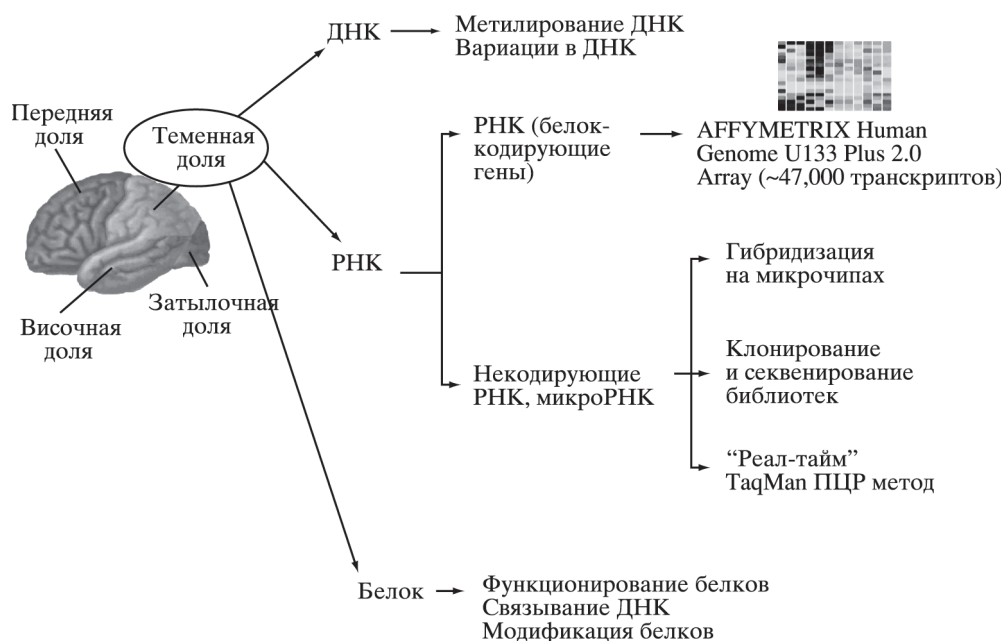


Рис. 3. Подходы к исследованию генетических и эпигенетических факторов риска развития шизофрении

генов-кандидатов, полиморфизм которых мог быть ассоциирован с риском развития шизофрении. Это гены компонентов нейротрансмиттерных систем – дофаминовых, серотониновых, глутаминовых рецепторов и др. Однако в настоящее время связь конкретных генов или полиморфизмов, таких как однонуклеотидные замены (*SNP*) или небольшие делеции или инсерции в этих генах, с развитием шизофрении строго не доказана. Наиболее убедительными факторами риска шизофрении являются редкие структурные вариации генома (вариации в числе копий генов или геномных сегментов *CNV*, то есть их делеции или дупликации). Обнаружено, что *CNV* (размеры делеций и дупликаций >100 т.н.) в хромосомных локусах 1q21.1, 15q11.2, 15q13.3 22q11.2, 16p 11.2, 16p13.1 встречаются значительно чаще у больных шизофренией, чем в контрольных выборках. Более подробные данные о структурных вариациях и примеры генетических ассоциаций с некоторыми генами-кандидатами приведены в работах [12–14]. Поскольку развитие шизофрении, очевидно, обусловлено взаимодействием множества факторов, наиболее эффективным в настоящее время представляется поиск множества генов с малым эффектом, каждый из которых увеличивал бы риск возникновения шизофрении, или поиск очень редких мутаций со значительным эффектом.

Алкоголизм. Злоупотребление алкоголем – одна из основных причин сверхсмертности мужчин трудоспособного возраста в России. Как показали близнецовые исследования, исследования приёмных детей и детей одной матери от разных отцов, существует значительный вклад наследственной предрасположенности в развитие алкоголизма. В эпидемиологических исследованиях установлено, что риск развития алкоголизма у близких родст-

венников пациентов в 2 раза выше, чем в контрольных группах. Оценка вклада наследственности в риск развития алкоголизма в близнецовых исследованиях составила более 50%, причём для мужчин эта оценка выше, чем для женщин.

Выделены две группы генов, генетические вариации в которых влияют на риск развития алкоголизма, – гены ферментов, метаболизирующих алкоголь, и гены, контролирующие передачу нервного импульса, поведенческие признаки и особенности характера. Основную роль в окислении алкоголя играет алкогольдегидрогеназа, превращающая его в токсичный ацетальдегид и кодируемая геном *ADH1B*. На следующем этапе альдегид окисляется до безопасных продуктов ферментом альдегиддегидрогеназой, кодируемой геном *ALDH2*. Для населения Европы характерно сочетание медленного превращения алкоголя в ацетальдегид с быстрым расщеплением альдегида, тогда как у жителей Юго-Восточной Азии преобладает обратное соотношение скоростей реакций: быстрое окисление алкоголя и очень медленное расщепление альдегида, что ведёт к его накоплению в крови и делает невозможным потребление больших количеств алкоголя из-за развития так называемой флэш-реакции (покраснения лица, сердцебиения, тошноты, головокружения и других симптомов), описанной в 1960–1970-х годах. Различия в скорости работы ферментов детерминированы генетически и обусловлены однонуклеотидными полиморфизмами в указанных генах, ведущими к замене аминокислот – *Arg47His* для *ADH1B* и *Glu504Lys* для *ALDH2* (рис. 4). Аллель *ALDH2*504Lys* (прежнее название *ALDH2*2*) определяет синтез нефункционального фермента. Частота аллеля *ALDH2*504Lys* снижена у алкоголиков, а гомозиготы по данному аллелю среди них крайне редки. Носители одного аллеля *ALDH2*504Lys* (как больные алкоголизмом, так и неалкоголики) потребляют меньшие дозы алкоголя по сравнению с соответствующими контрольными группами. Аллель *ALDH2*504Lys* имеет ограниченную область распространения, встречаясь у китайцев и японцев с частотой до 40%, у народов Вьетнама, Камбоджи и некоторых других стран Юго-Восточной Азии

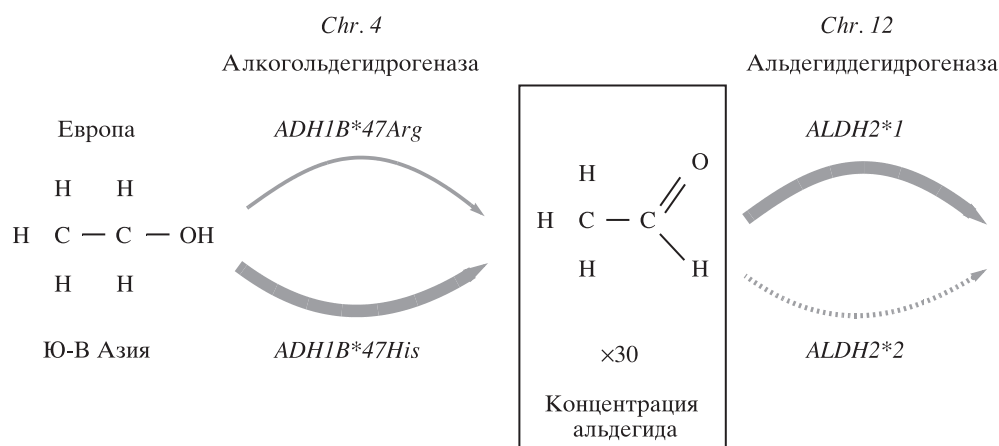


Рис. 4. Гены метаболизма алкоголя

Различная толщина стрелок указывает на различную скорость реакций окисления в зависимости от генотипа

с более низкой частотой, и с частотой 1–3% и менее 1% у народов Европы, в том числе у русских. Высокоактивный вариант алкогольдегидрогеназы *ADH1B*47His* обладает менее выраженным протективным действием. В ряде исследований показано, что носители его потребляют меньшие количества алкоголя, однако не для всех изученных групп эти данные подтверждаются. Частота аллеля *ADH1B*47His* в Юго-Восточной Азии достигает 70–80%, а в Европе повышается с 1% на севере до 7–8% на юге. В различных группах русских частота этого аллеля варьирует от 3 до 8% [15]. Приведённые данные показывают, что по генетически детерминированным особенностям метаболизма алкоголя русские не отличаются от других европейских популяций.

Если для генов метаболизма алкоголя достаточно ясны связь с потреблением алкоголя и механизмы их влияния, то для генов второй группы опубликованные данные довольно противоречивы. К этой группе относятся десятки генов, вовлечённых в передачу нервного импульса, – гены рецепторов и транспортеров дофамина, серотонина, норадреналина, гамма-аминомасляной кислоты, мю-опиоидного рецептора, гены ионных каналов и белков, участвующих в образовании синаптических контактов, а также многие другие. Мета-анализ, проведённый для некоторых генов, показывает, что речь идёт не об отдельных генах с сильным эффектом, а о множестве генов со слабым эффектом, действие которых может быть аддитивным или синергетическим. Значительный интерес представляет появление новой парадигмы рассмотрения манифестации этих генов. Если ранее генетические факторы риска, выявленные в исследованиях, рассматривались исключительно как неблагоприятные, то позднее, по крайней мере для аллелей некоторых генов, было предложено рассматривать их проявление как зависимое от условий среды. Было отмечено, что в благоприятной среде носители “аллелей риска” могут достигать более высоких результатов, чем контрольные группы.

Для понимания механизмов формирования алкогольной зависимости особенно перспективны комплексные исследования, сочетающие современные методы генетического анализа, в том числе определение изменений уровня экспрессии генов при формировании алкогольной зависимости, с исследованием особенностей активации различных зон мозга.

МикроРНК. Несмотря на значительные усилия по поиску конкретных генов, ответственных за психические заболевания, не существует к настоящему времени убедительных доказательств (например, таких, какие были получены для генов болезни Альцгеймера) обнаружения патогенных мутаций в белок-кодирующих генах при шизофрении. В связи с этим перспективной областью представляется исследование генов некодирующей РНК.

Сравнительно недавно открытые микроРНК представляют собой класс небольших регуляторных РНК, контролирующих уровень транскриптов или белковых продуктов в клетке. Зрелые микроРНК представляют собой молекулы ~19–24 п.н., образуемые из более длинных РНК-предшественников (~70–100 п.н.) и имеющих специфическую шпильчатую структуру. МикроРНК формируют несовершенный дуплекс с 3'UTR участками мРНК в составе комплекса RISC, что приводит к подавлению трансляции или деградации мРНК-мишеней. К настоящему времени детально описано более 350 генов разных видов микроРНК, хотя их число в геноме человека, видимо, не

менее 1000. Более чем для сотни из них показан высокий уровень экспрессии в мозге [16]. Недавние исследования продемонстрировали важную роль микроРНК в развитии нейродегенеративных заболеваний [16]. В экспериментах на модельных животных было показано, что микроРНК играет важную роль в развитии нервной системы, а также участвует в регуляции и развитии мозга [17]. Исследование уровня экспрессии позволило выявить ряд микроРНК с изменённым уровнем экспрессии в тканях мозга больных шизофренией по сравнению с контрольной группой, хотя результаты количественного анализа РНК транскриптов (подверженных процессам деградации в постмортальных тканях) требуют подтверждения. Некоторые мРНК генов, участвующие в нейрогенезе, имеют особенно много сайтов-мишеней для микроРНК [17].

Наиболее распространённые методы анализа экспрессии микроРНК включают в себя гибридизацию на микрочипах, количественную ПЦР и новые методы глубокого секвенирования. При гибридизации на микрочипах пробы РНК метятся флуоресцентным красителем и наносятся на микрочип, содержащий олигонуклеотидные зонды, соответствующие микроРНК-транскриптам. По интенсивности сигнала флуоресценции на микрочипе оценивается уровень экспрессии микроРНК в пробе.

В количественной ПЦР микроРНК подвергается обратной транскрипции с участием праймера со шпильчатой структурой, специфичного для данной микроРНК. Полученная кДНК подвергается амплификации. В реакции участвует флуоресцентный зонд. В качестве эндогенного контроля используются микроРНК и другие малые РНК с равномерным уровнем экспрессии в разных тканях.

Перспективным для исследования функций микроРНК является использование новых технологий глубокого секвенирования. Например, технология параллельного пиросеквенирования на базе платформы “454 Life Science system” (Roche) позволяет определять в сумме последовательность до 25 млн нуклеотидов в одной реакции (размером <250–400 п.н. в среднем). Новые платформы компании Illumina (Solexa Genome Analyzer) и Applied Biosystems (SOLiD) позволяют осуществить одновременное секвенирование до 1 млрд п.н. за один проход в виде коротких 30–40 п.н. фрагментов. Учитывая небольшие размеры микроРНК, новые системы могут быть особенно эффективны для определения профиля количественной экспрессии малых РНК в различных тканях и для поиска новых микроРНК. Суть метода состоит в том, что из пула тотальной РНК выделяется фракция малой РНК, содержащая микроРНК. Затем микроРНК лигируются с адаптерами, содержащими сайты для посадки секвенирующих праймеров. Затем пул РНК с лигированными адаптерами подвергается обратной транскрипции с образованием кДНК, которая далее подвергается амплификации, а затем – глубокому секвенированию. Полученные данные сравниваются с известными базами последовательностей микроРНК, рибосомных РНК, транспортных РНК и др. Уровень экспрессии индивидуальных микроРНК оценивается как процент последовательностей микроРНК от общего пула последовательностей для данного образца и сравнивается затем между разными образцами. Для выявления новых микроРНК необходимо проводить скрининг геномных регионов на наличие последовательностей с предсказанной вторичной шпильчатой структурой, характерной для предшественников микроРНК.

Диагностика. С развитием новых технологий стала возможна преимплантационная молекулярно-генетическая диагностика не только редких врождённых генетических заболеваний, но и некоторых нейropsychических заболеваний. Одним из примеров является преимплантационная диагностика. Мутантный аллель может быть выявлен с использованием ДНК-тестов на ранних стадиях (несколько клеток) развития эмбриона или ооцитов. Например, было проведено тестирование ДНК, выделенной из полярных телец ооцитов женщины, несущей мутацию в гене *APP*. V717L замена в белке *APP* приводила к развитию ранней формы БА у родственников пациентки. Яйцеклетки, не несущие мутации, были отобраны для процедуры экстракорпорального оплодотворения, что позволило женщине в дальнейшем иметь здорового ребёнка.

Фармакогеномика. Одним из наиболее актуальных направлений современной медицинской генетики является фармакогеномика, основанная на сопоставлении индивидуальных особенностей генома человека с ответом на лечение тем или иным препаратом, что позволяет определить наиболее эффективные подходы к лечению и профилактике различных заболеваний. Ответ на лечение антипсихотическими препаратами также зависит от индивидуальных генетических особенностей. Существуют популяционные полиморфизмы в неспецифических генах (например, хорошо изученные полиморфизмы генов метаболизирующих ферментов цитохромов) и в специфических генах (например, менее изученные вариации генов рецепторов, транспортёров и регуляторов нейротрансмиссии).

Полиморфизмы в генах ферментов, метаболизирующих такие препараты, как антидепрессанты и антипсихотики, могут определять эффективность действия лекарств. Например, у некоторых людей, устойчивых к высоким дозам антидепрессанта нортриптилина, обнаружено многократное увеличение дозы гена *CYP2D6*, который метаболизирует данный препарат [18]. В наших собственных исследованиях и исследованиях других авторов было также показано, что эффективность применения средств холинергической терапии болезни Альцгеймера зависела от *APOE* генотипа. Присутствие у пациентов $\epsilon 4$ аллеля гена *APOE* снижало эффективность лечения. Интереснейшей особенностью является то, что многие нелекарственные компоненты могут влиять на работу ферментов метаболизма. В частности, курение индуцирует активность некоторых цитохромов и ускоряет метаболизм ряда лекарственных препаратов. Кофеин или вещества, содержащиеся в соке грейпфрута, напротив, ингибируют цитохромы *CYP1A2* и *CYP3A4*, поскольку конкурируют с такими антипсихотиками, как клозапин и рисперидон. В настоящее время генетические факторы или генсредовые взаимодействия, по существу, не учитываются для определения индивидуальной дозы лекарства и проведения лекарственной терапии.

Доставка РНК в мозг. РНК интерференция – стратегически новое направление в разработке мишень-направленной терапии различных эндогенных и инфекционных заболеваний. Малые интерферирующие РНК молекулы или эндогенные микроРНК, специфично регулирующие активность определённых нейрогенов, могут стать новыми перспективными соединениями для терапии нейropsychических заболеваний человека.

Сложность доставки лекарственных препаратов при терапии нейropsychических заболеваний у людей обусловлена гематоэнцефалическим барьером

ром, ограничивающим проникновение в мозг терапевтических соединений при внутривенном введении. Такая проблема существует и при доставке молекул РНК. В этой связи перспективным является использование малого нейротропного пептида, выделенного из гликопротеина вируса герпеса (RVG), который эффективно доставлял малые интерферирующие РНК в мозг мыши при внутривенном введении. Было показано, что данный пептид связывался с ацетилхолиновыми рецепторами в мозге [19]. Эта система могла бы быть использована, например, для доставки микроРНК регуляторов в поражённые ацетилхолиновые нейроны. Другая возможность доставки РНК связана с пероральным введением. Недавно было показано, что пероральное введение малой интерферирующей РНК, инкапсулированной в бета-1,3-D-глюкановые частицы, позволяет эффективно и специфично ингибировать гены, отвечающие за воспалительный эффект в клетках макрофагов человека [20].

Этиология многих заболеваний психики или пограничных психических состояний остаётся неясной. Идентификация генов и мутаций, ответственных за сложные и наиболее распространённые психические заболевания человека, а также факторов среды, которые модулируют экспрессию этих генов или их продуктов, является принципиально важным направлением в исследовании в области нейронаук и психиатрии. Наибольшие надежды в этой области связаны с развитием новых геномных и генетических методологий, позволяющих проводить полногеномные исследования индивидуальной вариативности структуры и экспрессии генов и эпигенетических изменений генома в онтогенезе и в результате воздействия средовых факторов.

Автор благодарит А.П. Григоренко, С.А. Боринскую, И.Ю. Морозову за помощь в подготовке рукописи. Работа поддержана грантами NARSAD, NIH NIA, РФФИ и ГК 02.527.11.0006.

Литература

1. Watanabe H., Fujiyama A., Hattori M. *et al.* DNA sequence and comparative analysis of chimpanzee chromosome 22 // *Nature*. 2004. V. 429. P. 382–388.
2. Lai C.S., Fisher S.E., Hurst J.A. *et al.* A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder // *Nature*. 2001. V. 413. P. 519–523.
3. Bond J., Roberts E., Mochida G.H. *et al.* ASPM is a major determinant of cerebral cortical size // *Nat. Genet.* 2002. V. 32. P. 316–320.
4. Григоренко А. П., Рogaев Е. И. Молекулярные основы болезни Альцгеймера // *Молекулярная биология*. 2007. Т. 41. С. 331–345.
5. Rogaev E.I., Sherrington R., Rogaeva E.A. *et al.* Familial Alzheimer's disease in kindreds with missense mutations in a gene on chromosome 1 related to the Alzheimer's disease type 3 gene // *Nature*. 1995. V. 376. P. 775–778.
6. Sherrington R., Rogaev E.I., Liang Y. *et al.* Cloning of a gene bearing missense mutations in early-onset familial Alzheimer's disease // *Nature*. 1995. V. 375. P. 754–760.
7. Григоренко А.П., Моляка Ю.К., Коровайцева Г.И., Рogaев Е.И. Обнаружение нового класса политопных белков с доменами, ассоциированными с возможной протеазной активностью // *Биохимия*. 2002. Т. 67. С. 995–1005.
8. Коровайцева Г.И., Щербатых Т.В., Селезнёва Н.В. и др. Генетическая ассоциация между аллелями гена аполипопротеина Е (АПОЕ) и различными формами болезни Альцгеймера // *Генетика*. 2001. Т. 37. С. 529–535.
9. Rovelet-Lecrux A., Hannequin D., Raux G. *et al.* APP locus duplication causes autosomal dominant early-onset Alzheimer disease with cerebral amyloid angiopathy. *Nat. Genet.* 2006. V. 38. P. 24–26.

10. Brunner H.G., Nelen M.R., van Zandvoort P. *et al.* X-linked borderline mental retardation with prominent behavioral disturbance: phenotype, genetic localization, and evidence for disturbed monoamine metabolism // *Am. Journ. Hum. Genet.* 1993. V. 52. P. 1032–1039.
11. Cases O., Seif I., Grimsby J. *et al.* Aggressive behavior and altered amounts of brain serotonin and norepinephrine in mice lacking MAOA // *Science.* 1995. V. 268. P. 1763–1766.
12. Chumakov I., Blumenfeld M., Guerassimenko O. *et al.* Genetic and physiological data implicating the new human gene G72 and the gene for Damino acid oxidase in schizophrenia // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2002. V. 99. P. 13675–13680.
13. *International Schizophrenia Consortium.* Rare chromosomal deletions and duplications increase risk of schizophrenia // *Nature.* 2008. V. 455. P. 237–241.
14. Xu B., Roos J.L., Levy S. *et al.* Strong association of de novo copy number mutations with sporadic schizophrenia // *Nat. Genet.* 2008. V. 40. P. 880–885.
15. Borinskaya S., Kal'ina N., Marusin A. *et al.* Distribution of alcohol dehydrogenase ADH1B*47His allele in Eurasia // *Am. Journ. Hum. Genet.* 2009. V. 84. P. 89–92.
16. Погаев Е.И. Гипотеза: Малая РНК в развитии и заболеваниях мозга человека // *Биохимия.* 2006. Т. 71. № 1. С. 127–131.
17. Rogaev E.I., Islamgulov D.V., Grigorenko A.P. MicroRNA in Neuropsychiatric Diseases. In S.-Y. Ying, (ed.) *Current Perspectives in microRNAs (miRNA)* // Springer Science + Business Media B. V. 2008. Ch. 13. P. 223–242.
18. Meyer U.A. Pharmacogenetics – five decades of therapeutic lessons from genetic diversity // *Nat. Rev. Genet.* 2004. V. 5. P. 669–676.
19. Kumar P., Wu H., McBride J.L., Jung K.E. *et al.* Transvascular delivery of small interfering RNA to the central nervous system // *Nature.* 2007. V. 448. P. 39–43.
20. Aouadi M., Tesz G.J., Nicoloso S.M. *et al.* Orally delivered siRNA targeting macrophage Map4k4 suppresses systemic inflammation // *Nature.* 2009. V. 458. P. 1180–1184.

МЕДИЦИНСКАЯ ХИМИЯ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ФУНКЦИЙ МОЗГА

**Член-корреспондент РАН С.О. Бачурин
и академик Н.С. Зефирова**

Создание новых высокоэффективных лекарственных средств для лечения различных заболеваний человека – наиболее приоритетная задача в большинстве стран мира, с точки зрения как социальной значимости, так и финансовой. В денежном выражении мировой фармацевтический рынок в 2008 г. оценивался примерно в 750 млрд долл., и ожидается, что к 2012 г. его объём может достичь 912 млрд долл., что будет больше объёма мирового нефтяного рынка [1].

В связи с существенным увеличением доли пожилого населения в мире, и особенно в развитых странах, важное место в ряду современных лекарственных препаратов занимают средства для лечения возраст-зависимых заболеваний, к которым относятся многие нейродегенеративные патологии мозга, в частности болезнь Альцгеймера (БА). По различным оценкам, частота заболеваний этой болезнью у людей в возрастной группе 65–75 лет колеблется от 3 до 6%, а с увеличением возраста до 85 лет и старше превышает 35%. Проблема старческого слабоумия крайне актуальна и для нашей страны. Так, проведённые Научным центром психического здоровья РАМН эпидемиологические исследования показали, что 4.5% населения Москвы (более 70 тыс. человек) в возрасте 60 лет и старше страдают деменцией альцгеймеровского

типа, причём у 1.8% обследованных (более 30 тыс. человек) выявлены выраженные и тяжёлые формы слабоумия. Эти больные требуют постороннего ухода и надзора. Экстраполяция полученных данных на население старших возрастов в целом позволяет говорить о том, что уже в настоящее время общая численность страдающих болезнью Альцгеймера в России приближается к 1 млн человек [2].

Разработка стратегий поиска и создания новых высокоэффективных лекарственных препаратов является важнейшим направлением в науках о жизни (life sciences). Ключевая роль здесь отводится современной медицинской химии, возникшей как наука в 70-х годах прошлого столетия на стыке органической химии и молекулярной медицины. В соответствии с классификацией Международного союза теоретической и прикладной химии, медицинскую химию определяют как область химической науки, связанную с выявлением, развитием, идентификацией и исследованием механизма действия биологически активных соединений на молекулярном уровне. Главное внимание при этом направлено на лекарственные препараты, но интересы медицинской химии распространяются также на изучение, выявление и синтез метаболитов лекарств и родственных соединений.

Общую схему создания лекарственного препарата обычно представляют в виде определённой последовательности стадий (рис. 1). Первые четыре из них и являются собственно содержанием работ в области медицинской химии. Анализ этой схемы позволяет сделать вывод, что из примерно сотен тысяч изначально синтезированных соединений только одно дойдёт до клинических испытаний. А из десяти веществ, отобранных для клинических исследований, только один препарат поступит на рынок в виде лекарственного средства. В этой связи важнейшей задачей медицинской химии является разработка методов предсказания перспективных соединений, обеспечение направленного синтеза, а также повышение эффективности отбора потенциальных лекарственных кандидатов на основе привлечения широкого спектра современных методов скрининга и оптимизации структуры перспективных соединений.

Рассмотрим современные подходы к поиску и конструированию структуры лекарств. Прогресс в медицинской химии связан с введением в научный оборот понятия “биомишень” (ДНК, фермент, рецептор, ионный канал и т.п.), свойства которой надо видоизменить за счёт действия лекарства. В тех случаях, когда есть информация о пространственном строении биомишени (как правило, белковой молекулы), применяются методы прямого конструирования, в рамках которых реализуются отдельные этапы методологии “от гена – к лекарству”. Эти методы можно разделить на две группы: виртуальный скрининг в молекулярных базах данных и виртуальное конструирование лигандов. Если нет сведений о строении биомишени, но есть данные о необходимой биоактивности для серии соединений, используются методы непрямого поиска, главным образом КССА (количественная связь “структура–активность”). При отсутствии данных о структурах лигандов и рецептора применяются методы комбинаторной химии и тестирования больших массивов соединений. Рассмотрим подробнее перечисленные подходы, начав с последнего.

В условиях, когда нет данных как о строении биомишени, так и о структуре активных соединений, поиск лекарств базируется на синтезе библиотек

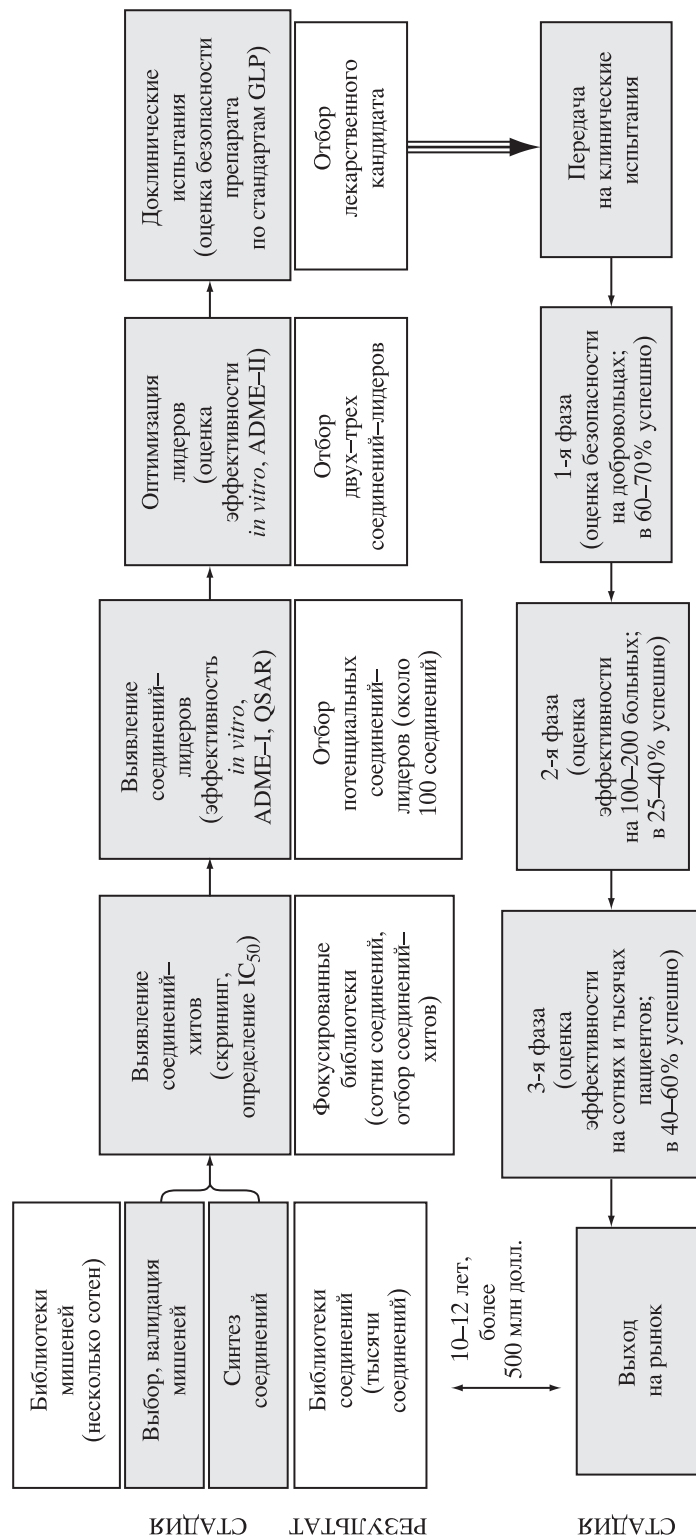


Рис. 1. Схема создания лекарственного препарата: от синтеза до рынка
По материалам “Nature Reviews Drug Discovery” (2004–2007)

соединений методами комбинаторной химии и последующих массовых испытаниях биологической активности. Число синтезируемых соединений методами комбинаторной химии при наличии современной робототехники на крупных фирмах достигает десятков и даже сотен тысяч в неделю. Революцию в деле тестирования произвели современные системы высокопроизводительного скрининга (в англоязычной литературе – High Throughput Screening), позволяющие быстро проверять на широком спектре биомитеной все синтезируемые соединения. Отметим, что стоимость оборудования и необходимых расходных материалов для комбинаторной химии и особенно для систем высокопроизводительного скрининга составляет миллионы долларов. Отдельной дорогостоящей проблемой при этом становится обработка огромных массивов данных о биологической активности сотен тысяч соединений. За рубежом при государственной поддержке были созданы специальные программы (типа “Дорожная карта” в США), обеспечивающие проведение широкомасштабного скрининга веществ, синтезируемых как в университетах, так и в специализированных центрах. Это направление развивается также на крупных фармацевтических фирмах.

Методы непрямого поиска, как правило, основаны на методологии КССА. Для проведения таких исследований необходимы исходные данные, состоящие из набора химических структур с известными значениями активностей. Далее статистическими методами строится модель “структура–активность”, или КССА-модель. Следующий этап заключается в генерации и дизайне новых структур с заданной активностью на базе построенных моделей. Идет генерация большого количества гипотетических структур; предсказание для них активности на основе КССА-моделей; автоматическая селекция структур с требуемыми значениями активности; анализ их синтетической доступности; последующий синтез и практические испытания. Таким образом, процесс создания новых соединений носит итерационный характер: после синтеза и экспериментальных исследований серии соединений проводятся новые исследования КССА и затем конструируются новые структуры, осуществляется их синтез, тестирование и вновь переходят к исследованиям КССА, но уже с учетом данных для новых соединений.

Хорошие результаты дают методы, базирующиеся на топологическом совмещении структур с известной биоактивностью и на анализе ее связи с локальными (атомными) параметрами (например, метод MFTA [3]). Важным направлением разработок в области КССА стало применение методологии искусственных нейронных сетей. Обычно нейронные сети для КССА включают входной слой нейронов (он получает рассчитанные значения дескрипторов), промежуточный и выходной слои нейронов, соответствующих прогнозируемым свойствам. Благодаря применению искусственных нейронных сетей и использованию базы данных “структура–активность” происходит оптимизация параметров нейронной сети таким образом, что в результате преобразования значений дескрипторов получаются наиболее точные значения активности. Нейросетевые модели могут воспроизводить нелинейные зависимости и обеспечивают высокую точность прогнозирования активности структур [4].

Большое значение имеет также априорная (до проведения синтеза) компьютерная оценка параметров, характеризующих всасывание, распределение, метаболизм, выделение и возможную токсичность лекарственных

веществ (ADMET). Ранее оценка таких параметров осуществлялась экспериментальными методами, и значительное число веществ синтезировалось напрасно.

В последнее десятилетие большие успехи достигнуты при использовании трёхмерных подходов, основанных на картировании биомишени путём определения формы места связывания, исходя из структурных данных о лигандах и данных об их связывании. К таким методам относится CoMFA (метод сравнительного анализа молекулярного поля) и CoMSIA (метод сравнительного анализа индексов молекулярного сходства). Эти методы позволяют сделать обоснованные выводы о строении биомишени и характере связывания с ней лигандов [5]. К сожалению, они являются составной частью дорогостоящих коммерческих программных комплексов и относительно малодоступны в России.

Рассмотрим направления, основанные на знании строения биомишени. В настоящее время в общедоступных базах данных имеются координаты атомов для тысяч белков, полученные методами рентгеноструктурного анализа или ЯМР. Эти данные могут служить в качестве базового знания о биомишени при разработке новых лекарств. Однако для большинства белков известны лишь аминокислотная последовательность и некоторые данные точечного мутагенеза, указывающие на аминокислотные остатки в структуре белка, необходимые для связывания определённых лигандов. В этом случае возможно компьютерное построение пространственной модели белка – биомишени, например, по гомологии с белками, имеющими известную пространственную структуру. Информация же о точечных мутациях, влияющих на связывание лигандов, помогает определить сайт связывания лигандов.

Именно такие подходы активно используются при конструировании лекарственных препаратов, действующих на биологический аппарат нервной системы. Ниже мы приведём лишь два примера направленного поиска и создания веществ, способных эффективно защищать нервные клетки от развития дегенеративных процессов, стимулировать сниженные когнитивные функции и память. Подобные вещества обычно рассматриваются в качестве перспективных кандидатов для лечения различных нейродегенеративных заболеваний, в частности болезни Альцгеймера.

В области создания средств для лечения болезни Альцгеймера и родственных нейродегенеративных расстройств особое внимание в последние годы уделяется препаратам, действующим на глутаматергическую медиаторную систему ЦНС. В частности, единственный препарат, рекомендованный для терапии развитых стадий болезни Альцгеймера – мемантин, относится к блокаторам NMDA-подтипа глутаматных рецепторов [6]. Альтернативный подход к созданию высокоэффективных стимуляторов когнитивных функций связан с поиском позитивных модуляторов (в частности, амракинов) AMPA-рецепторов – другого подтипа ионотропных глутаматных рецепторов [7], участвующих в процессах консолидации памяти и обеспечения когнитивных функций. В этой связи представлялось крайне интересным создать структуры, способные блокировать NMDA и одновременно потенцировать AMPA-рецепторы мозга. Можно было ожидать, что такие соединения будут, с одной стороны, защищать нервные клетки от развития нейродегенеративных процессов (быть нейропротекторами), а с другой – улучшать когнитив-

ные функции и память, ослабленные при болезни Альцгеймера или других формах деменции. Направленный дизайн, синтез и испытания этих соединений были выполнены в совместных работах Института физиологически активных веществ РАН и кафедры органической химии МГУ.

В качестве исходной точки для дизайна таких “мультицелевых” препаратов было взято модельное вещество МК801, являющееся высокоаффинным лигандом NMDA-рецепторов, но обладающее рядом побочных эффектов именно в силу “излишней жёсткости” связывания с внутриканальным сайтом NMDA-рецептора. Метод, который применялся для генерации новых структурных аналогов МК801, основан на концепции “привилегированных” подструктур (фрагментов) в оригинальной трактовке, заключающейся в анализе получающихся фрагментов при виртуальном раскрытии напряжённой структуры МК801. Ожидалось, что это должно привести к потере нежелательных побочных психотомиметических эффектов, свойственных высокоаффинным блокаторам NMDA-каналов. На следующем этапе проводилась функционализация отобранных наиболее активных структур, в частности, производных дибензиамина, биоизостерны, и фрагментами известных позитивных модуляторов AMPA-рецептора (амракины). Вводились изотиурониевые фрагменты, являющиеся в соответствии с критерием Шеридана [8] биоизостерными аналогами сульфамидной группировки, – характерного фармакофора амракинов.

В итоге была сформирована фокусированная библиотека, содержащая несколько сотен соединений, удовлетворяющих определённым структурным критериям (рис. 2). На основе результатов сравнительного докинга этих соединений на внутриканальном сайте NMDA и на модулирующем сайте AMPA-рецепторов (рис. 3) были отобраны наиболее перспективные вещества, которые затем прошли испытания в экспериментах *in vitro* и *in vivo*. В частности, на изолированных нейронах Пуркинье была установлена способность этих соединений потенцировать активность AMPA-рецепторов, а радиолигандным методом проведена оценка аффинности этих веществ в отношении внутриканального сайта NMDA-рецептора. Отобранные соединения–хиты затем были испытаны в качестве когнитивных энхансеров на нейротоксикологической модели деменции на животных в тесте водного лабиринта. Было показано, что соединения–лидеры (препараты NT1505 и NT 0409) проявляют свойства эффективных стимуляторов памяти и когнитивных функций у животных с искусственно вызванной деменцией. Эти препараты обладают крайне привлекательным фармакологическим профилем, что позволило предложить их в качестве перспективных средств для лечения болезни Альцгеймера и родственных заболеваний [9].

Ещё одним ярким и успешным примером направленного поиска высокоэффективных препаратов для лечения патологий мозга является обнаружение принципиально новых свойств, в том числе способности восстанавливать когнитивные функции и память у отечественного антигистаминного лекарственного средства “димебон”. Ещё в середине 1990-х годов коллективом исследователей из Института физиологически активных веществ РАН было установлено, что ряд производных гамма-карболинов, которые можно рассматривать как циклические аналоги некоторых эндогенных нейрорегуляторов и нейромедиаторов, проявляют способность защищать нервные

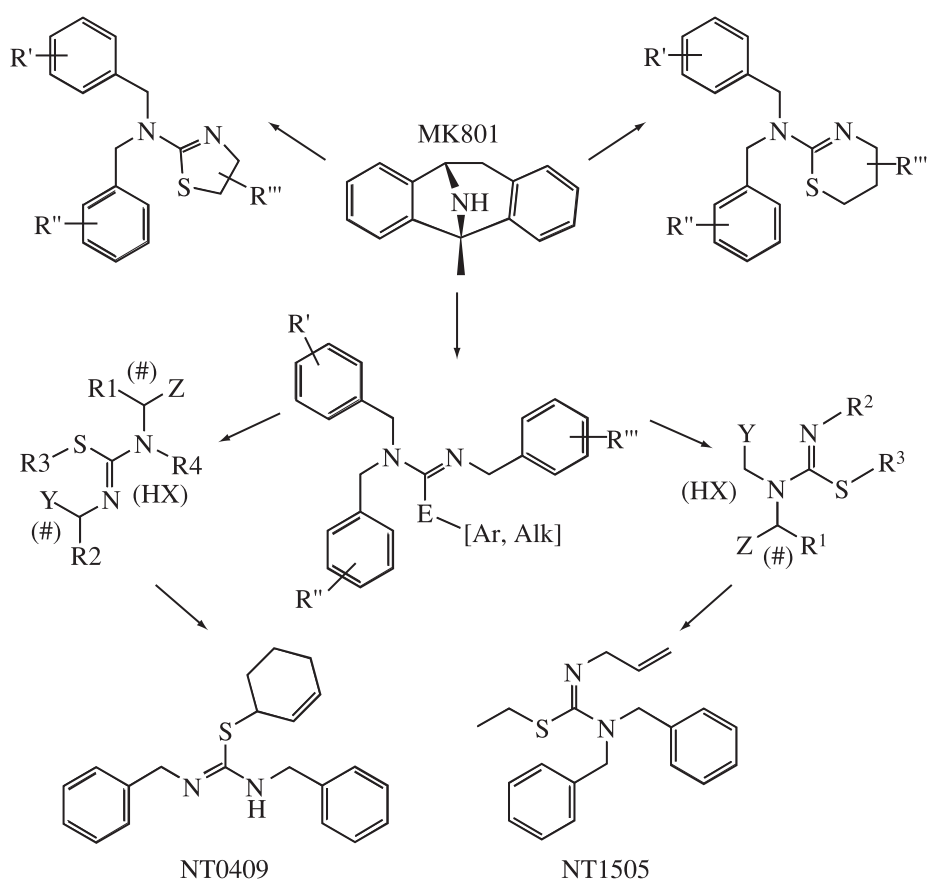


Рис. 2. Фокусированная библиотека привилегированных структур, действующих одновременно на NMDA- и AMPA-рецепторы

клетки от гибели, индуцированной различными стрессовыми факторами. Было установлено, что один из представителей этой группы соединений – препарат димебон, созданный ранее на химическом факультете МГУ и применявшийся уже более 10 лет у нас в стране в качестве антигистаминного противоаллергического средства, обладает высокими нейропротекторными и когнитивно стимулирующими свойствами. Димебон, как было показано, способен действовать на биомишени, участвующие в патогенезе ряда нейродегенеративных заболеваний [10]. Так, препарат выступал в качестве низкоаффинного блокатора NMDA-рецепторов, одновременно являясь позитивным модулятором AMPA-рецепторов. Он оказывал ингибирующее действие на ацетил- и бутирил-холинэстеразы, подобно тому, как действуют известные антиальцгеймеровские препараты такрин и амиридин. Принципиально новой мишенью действия димебона стали митохондрии, в частности митохондриальные поры, принимающие участие в “запуске” процессов апоптоза и некроза. В опытах на модельных животных и в рамках пилотных клинических испытаний, проведённых на ограниченном числе пациентов с болезнью Альцгеймера, было обнаружено, что димебон существенно улучшает

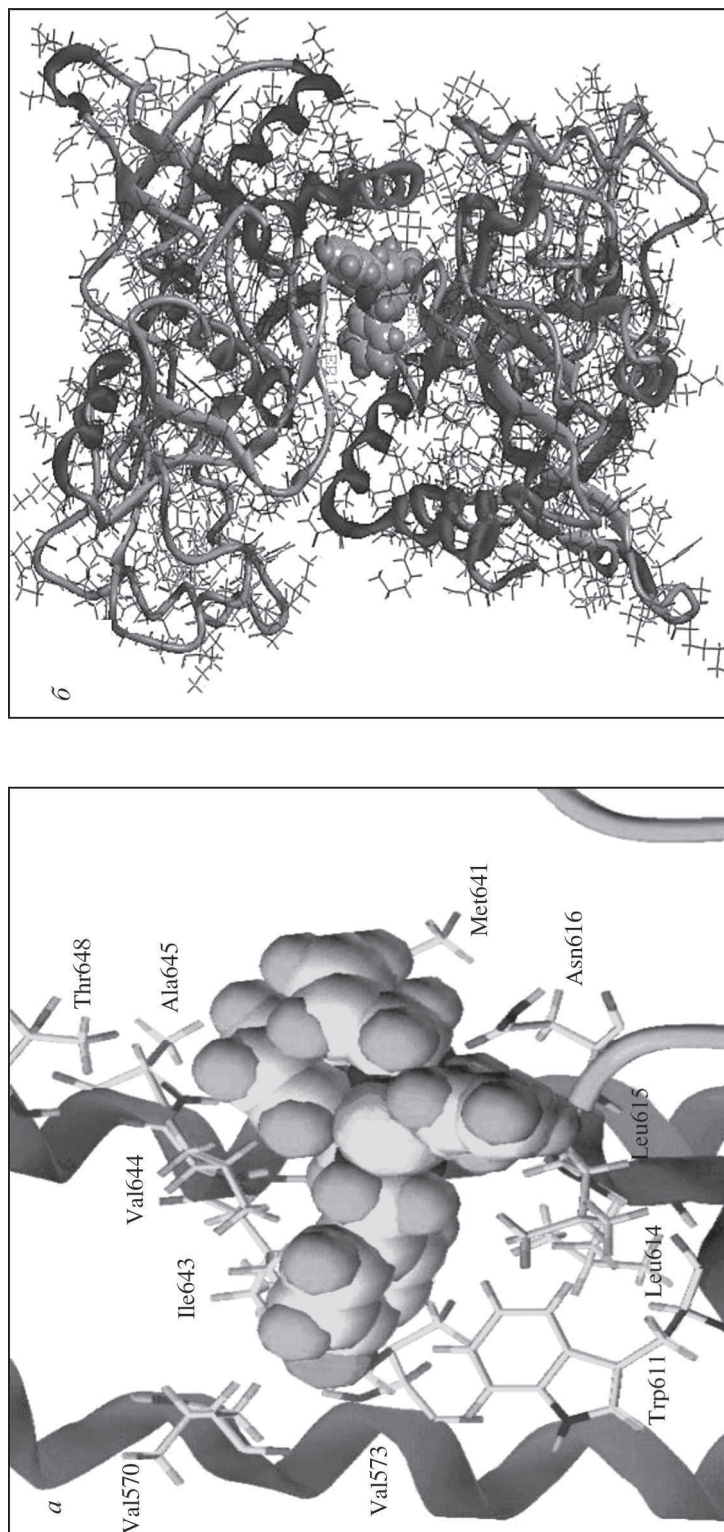


Рис. 3. Докинг соединения-лидера NT1505 на внутриканальный сайт NMDA-рецептора (а) и сайт связывания позитивных модуляторов AMPA-рецептора (б)

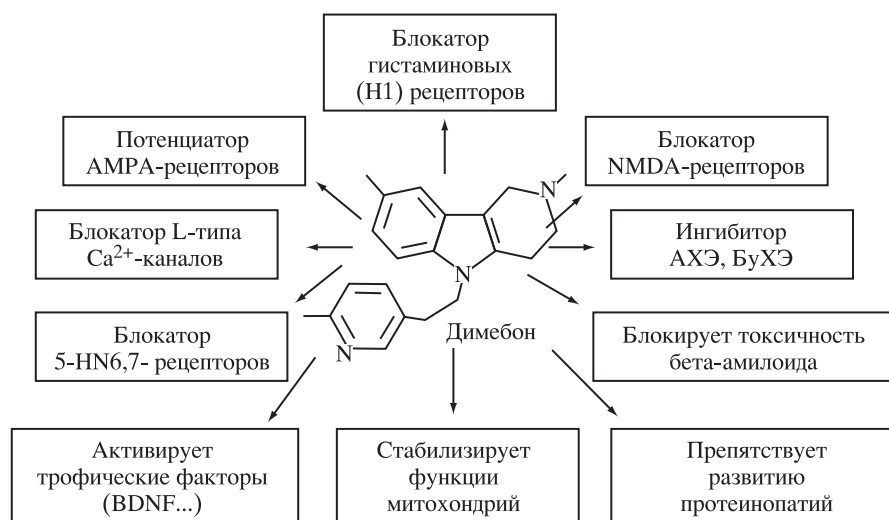


Рис. 4. Подтверждённые мишени действия препарата димебон

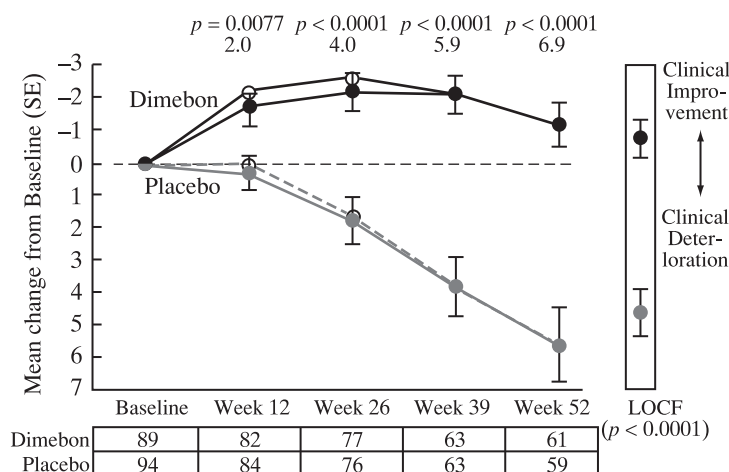


Рис. 5. Результаты клинических испытаний димебона

Улучшение памяти и когнитивных функций у больных болезнью Альцгеймера при 52-недельном лечении димебоном (верхняя кривая) по сравнению с плацебо (нижняя кривая). Рисунок из статьи [11]. По оси ординат приведены средние отклонения показателей когнитивных функций от начального уровня (выше нуля – улучшение, ниже нуля – ухудшение когнитивных функций). Пунктиром показаны данные по 134 пациентам (из общего числа 182), которые по завершении шести месяцев испытаний принимали участие в последующем 12-месячном испытании

когнитивные функции и память [10]. В настоящее время в различных лабораториях мира получено подтверждение, что димебон способен действовать на широкий спектр биологических мишеней (рис. 4), играющих важную роль в инициации и развитии нейродегенеративных процессов в мозге.

Вторая фаза клинических испытаний димебона по международным стандартам GCP проводилась в России американской компанией “Медивейшн” на более чем 180 пациентах с болезнью Альцгеймера. Результаты испытаний показали, что димебон по своей эффективности существенно превосходит все применяемые в настоящее время препараты. Главное его отличие от уже имеющихся препаратов состоит в том, что он способен не только задерживать развитие заболевания, но и улучшать состояние когнитивных функций больных по сравнению с уровнем на начало испытаний [11] (рис. 5). Это позволяет рассматривать димебон как первый “болезнь-модифицирующий” препарат, влияющий на патогенез болезни Альцгеймера. Успешные результаты клинических испытаний димебона нашли широкий отклик за рубежом, что ещё раз подтверждает высокий потенциал исследований, проводимых в институтах Российской академии наук [12].

Как известно, в 2009 г. принята Стратегия развития фармацевтической промышленности Российской Федерации до 2020 г. (Фарма-2020), которая предусматривает выведение на рынок нескольких десятков инновационных лекарств. С целью наиболее эффективной реализации имеющегося научного потенциала академических институтов по созданию оригинальных лекарственных препаратов РАН выступила с инициативой по формированию уникальной для нашей страны Национальной сети биологического скрининга. Этот проект вошёл в реестр перспективных проектов, отобранных Министерством промышленности и торговли РФ. Дальнейшие успехи и перспективы в реализации научного потенциала во многом зависят от того, будет ли он востребован отечественной фарминдустрией.

Ряд результатов, приведённых в данной публикации, получен при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН “Фундаментальные науки – медицине” и программы Отделения химии и наук о материалах “Медицинская и биомолекулярная химия”.

Литература

1. Pharmaceutical Market Trends, 2008–2012.
2. *Гаврилова С.И.* Фармакотерапия болезни Альцгеймера: миф или реальность // Материалы 2-й Российской конференции “Болезнь Альцгеймера и старение: от нейробиологии к терапии”. М., 1999. С. 25–44.
3. *Palyulin V.A., Radchenko E.V., Zefirov N.S.* Molecular Field Topology Analysis Method in QSAR Studies of Organic Compounds // *Journ. Chem. Inf. Comput. Sci.* 2000. V. 40. P. 659–667.
4. *Гальберштам Н.М., Баскин И.М., Палюлин В.А., Зефирова П.С.* Нейронные сети как метод поиска зависимостей структура–свойство органических соединений // *Успехи химии.* 2003. № 7.
5. *Baskin L.L., Tikhonova I.G., Palyulin V.A., Zefirov N.S.* Selectivity Fields: Comparative Molecular Field Analysis (CoMFA) of the Glycine/NMDA and AMPA Receptors // *Journ. Med. Chem.* 2003. V. 46. P. 4063–4069.
6. *Parsons C.G. et al.* Memantine: a NMDA receptor antagonist that improves memory by restoration of homeostasis in the glutamatergic system – too little activation is bad, too much is even worse // *Neuropharmacology.* 2007. V. 53. P. 699–723.
7. *O'Neill M.J., Dix S.* AMPA receptor potentiators as cognitive enhancers // *Drugs.* 2007. V. 10. P. 185–192.

8. *Sheridan R.P.* The Most Common Chemical Replacements in Drug-Like Compounds // *Journ. Chem. Inf. Comput. Sci.* 2002. V. 42. P. 103–108.
9. Патенты РФ № 2223952.
10. *Bachurin S., Bukatina E., Lermontova N. et al.* Antihistamine agent Dimebon as novel neuroprotector and cognition enhancer // *Ann. N.Y Acad. Sci.* 2001. V. 939. P. 425–435.
11. *Doody S., Gavrilova S.I., Sano M. et al.* Dimebon improves cognition, behaviour, activities of daily living and global function in a randomised, double-blind, placebo-controlled 6-month study of patients with mild-to-moderate Alzheimer's disease // *Lancet.* 2008. V. 372. P. 207–215.
12. *Pollak A.* Antihistamine Shows Promise in Treating Alzheimer's // *The New York Times.* 2007. June 11.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МОЗГА

*Кандидат физико-математических наук И.Б. Гуревич
и академик Ю.И. Журавлёв*

Возможности использования методов и средств математики и информатики в исследованиях мозга и интерпретации их результатов столь же многообразны и широки, как собственно проблематика этих исследований. Общепринято, что роль математических и информационных методов в естественных науках заключается в формальной постановке задач исследований, автоматизации обработки, анализа и интерпретации полученных результатов, построении математических и имитационных моделей исследуемых объектов и информационных, биологических, физиологических, физических, химических и других материальных и энергетических процессов, проведении машинных экспериментов с этими моделями, принятии интеллектуальных решений на основе анализа результатов исследований и моделирования, структуризации и формальном описании новых знаний. Эти математические процедуры имеют явно выраженный двойственный характер, поскольку полученные результаты немедленно становятся отправной точкой для постановки и решения новых исследовательских задач.

Соответственно, цели и средства математических и информационных исследований мозга можно сформулировать следующим образом:

1) цели:

- выявление принципов и механизмов, определяющих развитие, организацию, обработку информации и умственные способности нервной системы;
- автоматизация извлечения информации и знаний из экспериментальных данных;
- моделирование на уровне отдельных нейронов и сетей нейронов;

2) средства:

- разработка методов и программного обеспечения для анализа и моделирования;
- создание моделей нервной системы и процессов, в ней реализующихся;
- разработка методов, инструментальных средств, баз данных (БД) и баз знаний (БЗ) нейронаук на всех уровнях анализа механизмов деятельности мозга и его функций.

Основными этапами этих НИР являются экспериментальное исследование, выделение и анализ регулярностей/закономерностей, формализация, алгоритмизация, моделирование и машинный эксперимент.

Математические и информационные подходы в настоящее время широко используются в нейронауках, в частности, в таких её существенных разделах, как молекулярная и клеточная нейронаука, поведенческая нейронаука, системная нейронаука, нейронаука развития, когнитивная нейронаука, теоретическая и вычислительная нейронаука, неврология и психиатрия, нейронная инженерия, нейролингвистика, нейровизуализация. При этом собственно исследования мозга имеют в основном теоретический, алгоритмический и структурный характер и проводятся, главным образом, на следующих структурных уровнях (это относится в первую очередь к работам по моделированию мозга):

- мозг в целом;
- специфические системы мозга (например, зрительная система);
- сверхбольшие нейронные сети;
- малые нейронные сети;
- нейроны;
- ионные каналы и синапсы;
- молекулярные процессы.

Исследование мозга и проблема мышления привлекли внимание многих крупных учёных и естествоиспытателей. Ниже приведен перечень учёных, внесших наиболее существенный вклад в эту область, и указаны их результаты и/или науки и научные направления, которые были ими созданы или в рамках которых были получены основополагающие результаты:

- “Calculus Ratiocinator” (Г.В. Лейбниц, 1690-е годы);
- математическая логика (Дж. Буль, 1854);
- теория формальных систем и теория алгоритмов (А.А. Марков, Э.Л. Пост, А.М. Тьюринг, А. Черч, 1930–1940-е годы);
- теория функциональных систем (П.К. Анохин, 1935);
- биокибернетика (нейронные сети) (У. Маккалок, У. Питтс, 1940-е годы);
- аналогия “мозг-ЭВМ”, клеточный автомат, самоорганизующиеся системы (Дж. фон Нейманн, 1940–1950-е годы);
- теория информации (А.Н. Колмогоров, В.А. Котельников, К. Шеннон, 1940–1950-е годы);
- теория игр (Д. фон Нейманн, О. Моргенштерн, 1944);
- кибернетика (Н. Винер, 1948);
- клеточный ансамбль (Дж. Хэбб, 1949);
- перцептрон (Ф. Розенблатт, 1954, М. Минский, Ф. Пэйперт, 1961);
- математическая кибернетика, биокибернетика (А.А. Ляпунов, 1950–1960-е годы);
- управляющие системы (В.М. Глушков, А.А. Ляпунов, А.И. Китов, С.В. Яблонский, 1950–1960-е годы);
- теория больших систем (А.И. Берг, 1950–1960-е годы);
- медицинская кибернетика (Н.М. Амосов, В.М. Ахутин, В.В. Парин);
- математическая теория распознавания образов (У. Гренандер, Ю.И. Журавлёв, 1970-е – наст. вр.).

Возможности и результаты математических и информационных исследований мозга кратко иллюстрируются ниже в соответствии с их основными направлениями: 1) автоматизация извлечения информации и знаний из экспериментальных данных; 2) изучение информационных объектов деятельности мозга; 3) моделирование.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ И ЗНАНИЙ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Теоретической и методической основой автоматизации обработки, анализа и оценивания экспериментальных данных, получаемых при исследовании мозга, являются математическая теория распознавания образов и математическая теория анализа изображений.

Основное назначение методов распознавания образов – отнесение предъявленного объекта к одному из заданных классов на основе анализа прецедентов (вычисление значений метрики близости) в многомерном признаковом пространстве при помощи постановки и решения задач следующих типов: а) идентификация и классификация объектов; б) разбивка множества заданных объектов на непересекающиеся классы (кластерный анализ); в) оценка информативности характеристик (признаков) распознаваемых объектов; г) описание распознаваемых объектов (в том числе, с помощью векторов признаков).

Распознавание образов как наука возникло и сформировалось в результате необходимости решать задачи анализа и оценивания плохо структурированной, неформализованной, нечёткой, неполной, противоречивой, семантически насыщенной и зашумленной информации с помощью вычислительно эффективных математических методов. Исходной информацией в этих задачах служат числовая, символьная и экспертная информация, изображения, речь, сигналы, тексты, документы, схемы и чертежи, а также произвольные комбинации указанных разновидностей исходных данных.

Методы и средства распознавания образов предназначены для решения прикладных интеллектуальных задач принятия решений, диагностики, идентификации и прогнозирования. Типичными примерами являются задачи принятия решений и прогнозирования, возникающие, в частности, в автоматизации научных исследований (обнаружение событий, восстановление и вывод зависимостей, поиск, восстановление и вывод эмпирических закономерностей). Отличительной и принципиальной особенностью этих задач является невозможность использования классических математических (аналитических) моделей для формализации и представления исходных данных. В основе решений лежат не чисто расчётные модели, а модели, основанные на процедурах анализа и оценивания информации, – главным образом, прецедентов, косвенных характеристик, доступных для измерения, логических и физических ограничений, контекстных и неявных знаний.

Проиллюстрируем возможности автоматизации анализа экспериментальных данных на примере их представления в виде изображений. Основу современной математической теории распознавания образов составляет “Алгебраический подход к решению задач распознавания и классификации” [1]. Для случая представления исходной информации в виде изображений

осуществлена его специализация – предложен и развивается дескриптивный подход к анализу и пониманию изображений (ДПАИ) [2].

Разработка и исследование математического аппарата, обеспечивающего теоретическую основу автоматизации обработки, анализа, оценивания и понимания изображений, является одной из фундаментальных задач информатики. Автоматизация обработки и анализа изображений обеспечивает разработчикам автоматизированных систем, предназначенных для работы с изображениями, и конечным пользователям возможность в автоматическом или интерактивном режимах: разрабатывать, адаптировать и проверять методы и алгоритмы распознавания, понимания и оценивания изображений; выбирать оптимальные или адекватные методы и алгоритмы распознавания, понимания и оценивания изображений; проверять качество исходных данных и их пригодность для решения задачи распознавания изображений; использовать стандартные алгоритмические схемы распознавания, понимания, оценивания и поиска изображений.

ДПАИ задаёт единую концептуальную структуру для развития и реализации этих моделей и математического языка [3]. Основной целью этого подхода является структурирование разнообразных методов, операций и представлений, используемых в анализе и распознавании изображений, причём формальные конструкции ДПАИ обеспечивают способы и инструменты представления и описания изображений для их последующего анализа и оценивания. В рамках развития ДПАИ решаются следующие задачи: определение способов представления исходной и промежуточной информации в задачах обработки, анализа и распознавания изображений; разработка математического аппарата для единообразного описания моделей изображений и преобразований, обеспечивающих их построение и решение задач распознавания; построение стандартизированных алгоритмических схем и их реализация в виде элементов информационных технологий анализа изображений.

В рамках ДПАИ разработаны классификации задач, возникающих при работе с изображениями, а также классификации существующих методов решения этих задач [4].

Выделены три функциональные группы задач:

- **цифровая обработка изображений** – повышение качества изображений для улучшения его визуального восприятия человеком, обработка изображений для их хранения, представления и передачи, преобразование изображений таким образом, чтобы повысить эффективность их дальнейшего анализа и распознавания;

- **анализ изображений** – применение к ним системы преобразований, обеспечивающей извлечение из изображения полезной информации о свойствах изображаемого объекта/процесса; результатом анализа изображений является приведение изображения к виду, удобному для распознавания, то есть построение формального описания – модели изображения;

- **распознавание изображений** – отнесение изображения/его фрагментов/представленных на нём объектов к некоторому классу, либо разбиение множества изображений/его фрагментов/представленных на нём объектов на несколько классов.

Для разбиения задач на группы внутри каждой из выделенных категорий предложены тематический и технический критерии. К тематическим

относятся задачи, определяющие цель преобразований изображения, а также задачи, соответствующие основным видам решений, которые принимаются по информации, представленной в виде изображений; технические – элементарные задачи, необходимые для решения тематических задач.

Построенные классификации выглядят следующим образом:

- **тематические задачи обработки изображений:** а) сжатие изображений; б) улучшение качества изображений; в) восстановление изображений;

- **технические задачи обработки изображений:** а) преобразования, заключающиеся в применении к изображениям арифметических операций; б) геометрические преобразования изображений; в) яркостная и цветовая коррекция изображений; г) преобразование контраста изображений; д) преобразование гистограммы изображений; е) усиление яркостных переходов на изображении; ж) удаление (подавление) шума на изображении; з) фильтрация изображений; и) сглаживание изображений; к) повышение резкости изображений; л) бинаризация тоновых изображений; м) кодирование изображений; н) дискретизация и квантование изображений;

- **тематические задачи анализа изображений:** а) выделение производных элементов/групп пикселей; б) сегментация изображений; в) описание выделенных производных элементов/групп пикселей; г) выбор, выделение и вычисление признаков изображений/фрагментов изображений/ групп пикселей, используемых при построении моделей изображений; д) построение и описание моделей изображений; е) описание двухмерных объектов на изображении; ж) реконструкция изображений;

- **технические задачи анализа изображений:** а) связывание и классификация яркостных переходов; б) прослеживание, группировка и представление границ областей; в) построение остова области; г) выделение, заполнение и анализ контуров; д) сегментация кривых; е) разбивка, заполнение, классификация и представление областей;

- **тематические задачи распознавания изображений:** а) преобразование и оценивание моделей изображений; б) сопоставление двух изображений в целом для установления их принадлежности к одному классу; в) сопоставление изображения в целом с набором или серией последовательных (по времени) изображений, представляющих некоторый класс изображений; г) задачи б) и в) для случая нескольких классов; д) поиск на предъявленном на распознавание изображении некоторой регулярности/нерегулярности (объекта, ситуации); е) поиск на предъявленном на распознавание изображении регулярности/ нерегулярности/фрагмента заданного вида; ж) разбивка множества изображений на непересекающиеся подмножества (задача автоматической классификации); з) выбор и формирование траектории задачи распознавания изображений; и) решение задач б)–з) в случаях наличия на изображениях динамических объектов, сложной фоновой обстановки и с учётом способа получения, формирования и представления изображений;

- **технические задачи распознавания изображений:** а) приведение изображения к виду, удобному для распознавания; б) оценка информативности и адекватности признаков, использованных при построении модели изображения/фрагментов изображения/представленных на нём объектов; в) определение и оценивание статистических характеристик признаков изображения/фрагментов изображения/представленных на нём объектов; г) оценка адек-

ватности модели изображения/фрагментов изображения/представленных на нём объектов; д) выбор модели алгоритмов распознавания для использования при решении предъявленной задачи распознавания; е) выбор алгоритма в выбранной модели алгоритмов; ж) адаптация, обучение и модификация выбранного алгоритма применительно к предъявленной задаче распознавания; з) комбинирование алгоритмов с целью решения предъявленной задачи распознавания и построение алгоритмической схемы, обеспечивающей решение задачи.

Очевидно, что представленные классификации в целом покрывают все задачи обработки, анализа и распознавания изображений, возникающие при анализе и интерпретации результатов экспериментальных исследований мозга. Поскольку в соответствии с этими задачами используются методы обработки, анализа и распознавания изображений, автоматизированные системы анализа изображений, оснащенные необходимыми библиотеками алгоритмических схем и архивом решённых задач, обеспечивают исследователям возможность в интерактивном или автоматическом режимах синтезировать и реализовывать процедуру решения поставленной задачи при помощи комбинирования модулей “задача–метод”. Отметим, что системы такого типа или уже существуют, или находятся в стадии разработки.

ИЗУЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МОЗГА

Принципиально важным направлением математических и информационных исследований мозга является изучение информационной природы объектов его деятельности, обрабатываемых в зрительной и других системах восприятия. Остановимся на информационной природе изображения и некоторых результатах, полученных в этой области.

Изучение информационной природы изображения и достижение понимания того, что собственно такое “изображение” как средство передачи и представления информации актуально в двух аспектах. Во-первых, эта проблема тесно связана с природой мышления, во-вторых, анализ и понимание изображений в “техническом” смысле требуют построения формальных/символьных моделей изображений. Этому, несомненно, способствовало бы использование знаний о его информационных природе и характеристиках.

Заметим, что приведение изображений к виду, удобному для распознавания (ПВУР), – построение модели изображения – есть обязательный шаг задачи распознавания изображений, учитывающий изобразительные свойства исходной информации и формальные требования к данным, подающимся непосредственно на вход алгоритмов распознавания. При разработке методов автоматизации распознавания изображений необходимо найти способы эффективной формализации изображений, которая бы отражала семантику изображения, информацию, заключённую в его внутренней структуре и структуре внешних связей части реального мира (сцены), воспроизводимой с помощью изображения. Подавляющее большинство методов работы с изображениями являются эвристическими, и достоинства их определяются успешностью преодоления ими “изобразительности” изображения “неизобразительными” средствами. Аксиоматика и формальные конструкции ДПАИ

обеспечивают способы и инструменты представления и описания изображений для их последующего анализа и оценивания. Введенная система понятий составляет основу для формального определения методов синтеза моделей изображений, ориентированных на задачи анализа и распознавания изображений [3]. При определении указанной системы понятий основополагающими являются следующие свойства изображений: изображение состоит из множества точек и множества значений, связанных с этими точками; преобразование изображений с целью их анализа включает операции над изображениями и над различными значениями и характеристиками, связанными с этими изображениями; изображение наделено двумя типами информации: пространственные отношения между точками и некоторая числовая или какая-либо другая дескриптивная информация, связанная с этими точками; множество точек является топологическим пространством.

Изображение по своей природе является объектом со сложной информационной структурой, воспроизводящей информацию об исходной сцене с помощью значений яркости дискретных элементов изображения – пикселей, конфигураций фрагментов изображения, множеств пикселей и пространственных и логических отношений между конфигурациями, множествами пикселей и отдельными пикселями. Изображение отличается от иных средств представления данных высокой информативностью, наглядностью, структурированностью и естественностью восприятия его содержания для человека. Изображение представляет собой смесь исходных (необработанных, “реальных”) данных, их реализаций и некоторых деформаций. Реализации (как и соответствующие описания) при этом отражают информационную и физическую природу объектов, событий и процессов, воспроизводимых с помощью изображения, а деформации порождаются техническими характеристиками средств. С их помощью изображение зарегистрировано, сформировано и преобразовано в процессе построения иерархии описаний. Таким образом, при разработке методов формального описания необходимо учитывать не только значения яркости пикселей изображения, но и дополнительную информацию, связанную с ним в явном и неявном виде.

Процесс построения модели заключается в применении к исходному изображению некоторой системы преобразований, обеспечивающих последовательную смену “состояний” преобразуемого изображения, соответствующих различной степени формализации. В этой связи в ДПАИ вводится понятие “пространство формализации изображения” – множество “состояний” изображения (исходное изображение, реализация изображения, представление изображения, реализация представления изображения, модель изображения [3]).

Пространство формализации изображения метрическое, его элементы – состояния (фазы формального описания) изображения, и в этом смысле речь идёт о фазовом пространстве. Топология этого пространства задаётся некоторой алгебраической системой, то есть некоторой алгеброй изображений, определяющей операции над элементами изображений, их значениями и построенными в результате применения этих операций состояниями.

Построение моделей изображений, таким образом, связано с синтезом и применением объектов из следующих множеств: множество исходных данных – изображений; множество преобразований изображений для ПВУР;

множество представлений изображений – схем построения формальных описаний изображений; множество моделей изображения.

Проведённая концептуализация и введение формального аппарата дескриптивных моделей изображений создаёт необходимые предпосылки для формулирования основных аксиом математической теории анализа и распознавания изображений. Приведённые ниже аксиомы обеспечивают концептуальную основу процессов формализации изображений.

Аксиома 1: Любому изображению I можно однозначно поставить в соответствие совокупность множеств $(\{I_0\}, \{\tilde{O}\}, \{\tilde{M}\})$, где $\{I_0\}$ – множество исходных информации, $\{\tilde{O}\}$ – множество преобразований, применимых ко множеству исходных информации, и $\{\tilde{M}\}$ – множество результатов применения преобразований к исходным информации.

Аксиома 2: Множество преобразований состояний изображения $\{\tilde{O}\}$ задаётся множеством структурирующих элементов $\{\tilde{S}\}$, множеством порождающих правил $\{\tilde{R}\}$ и тремя подмножествами преобразований $\{\tilde{O}_T\}$, $\{\tilde{O}_P\}$, $\{\tilde{O}_G\}$: процедурные преобразования $\{\tilde{O}_T\}$, параметрические преобразования $\{\tilde{O}_P\}$, порождающие преобразования $\{\tilde{O}_G\}$.

Аксиома 3: Пространство формализации изображения включает пространство исходных данных (реализаций изображений), пространство реализаций представлений изображений и пространство моделей изображения. Это метрическое пространство, элементами которого являются состояния изображения (аспекты изображения – реализации изображения и фазы его формального описания), представления изображения, реализации представлений изображения, модели изображения.

Аксиома 4: Топология пространства формализации изображения может задаваться некоторой алгебраической системой, то есть некоторой алгеброй изображений, определяющей операции над элементами изображений, их значениями и построенными в результате применения этих операций состояниями изображения.

Аксиома 5: Процесс ПВУР полностью реализуется в рамках этого пространства формализации изображения с помощью ДАПИ, дескриптивных алгебр изображений, определённых над его элементами – преобразованиями изображения и состояниями изображения.

АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ СРЕЗОВ МОЗГА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

Рассмотрим пример, иллюстрирующий эффективность использования методов математической теории анализа изображений для извлечения информации из экспериментальных данных, полученных при исследовании мозга [5]. Основными целями работы являлись автоматизация получения экспериментальных данных, необходимых для наполнения модели преclinical стадии болезни Паркинсона (БП), и автоматизация исследования модели при помощи машинных экспериментов. НИР проведена совместно с лабораторией гормональных регуляций Института биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, предоставившей экспериментальные данные и выполнившей тестирование разработанных алгоритмической схемы и реализующей её программной системы.

Углубленное изучение и моделирование БП относится к фундаментальной проблеме создания систем ранней диагностики тяжёлых заболеваний на преклинической стадии и является одной из наиболее актуальных проблем в медицине. Наличие моделей БП позволит, в частности, изучать компенсаторные механизмы мозга с целью управления ими.

Для понимания патогенеза, разработки методов диагностики и лечения БП большое значение имеет экспериментальное исследование дегенерации дофаминергических (ДА-ергических) нейронов, вызываемой с помощью специфических нейротоксинов.

Разработка моделей различных стадий БП требует проведения скринингового анализа моторного поведения, метаболизма дофамина (ДА) и тирозин-гидроксилаза-иммунореактивных нейронов и их аксонов в нигростриатной системе при различных схемах применения нейротоксинов. ДА-ергические нейроны чёрной субстанции (ЧС), проецирующие аксоны в стриатум, являются ключевым звеном регуляции моторного поведения. Прогрессирующая дегенерация этих нейронов приводит к развитию БП.

Морфологические исследования, проводимые при построении моделей преклинической стадии БП, требуют обработки и анализа чрезвычайно большого количества изображений серийных срезов мозга экспериментальных животных, причём изучение каждого из срезов требует измерения и анализа количественных и качественных характеристик сотен нейронов и тысяч терминалей их аксонов. Разработка математических методов, обеспечивающих автоматизацию анализа указанных изображений, является необходимым условием эффективного построения и исследования адекватных моделей БП.

Разработанные методы автоматизации представляются в виде стандартных алгоритмических схем, описанных на языке дескриптивных алгебр изображений с одним кольцом [6]. Такие схемы включают основные этапы извлечения информации из изображений: предварительную обработку (улучшение качества изображений, удаление несущественных деталей и фрагментов, статистическую и логическую фильтрацию); анализ изображений (обнаружение объектов и выделение их контуров, сегментацию, выбор и выделение признаков, описывающих состав и содержание изображения, поиск, выделение и построение отдельных объектов, отображающих специфику анализируемых изображений и др.); построение описания объектов, представленных на анализируемых изображениях; классификацию изображений и объектов на них представленных; распознавание.

В качестве источника экспериментальных данных для построения модели БП использованы цифровые изображения ДА-ергических нейронов и волокон срезов головного мозга экспериментальных животных. ДА-ергические нейроны выявляются на серийных срезах, толщиной 20 мкм, чёрной субстанции (рис. 1), а терминали их аксонов на серийных срезах стриатума (рис. 2), толщиной 12 мкм. Разрешение исходных изображений составляет 0.0117 мкм²/пиксел².

Модель БП представляет различия параметров ДА-ергических нейронов и их аксонов в опытной и контрольной группах. Экспериментальные животные из опытной группы подвергаются воздействию нейротоксина. Типичные исходные изображения, получаемые в контрольной и опытной группах, представлены на рис. 3.

Рис. 1. ДА-ергические нейроны на серийных срезах чёрной субстанции

Прогрессирующая дегенерация этих нейронов приводит к развитию болезни Паркинсона

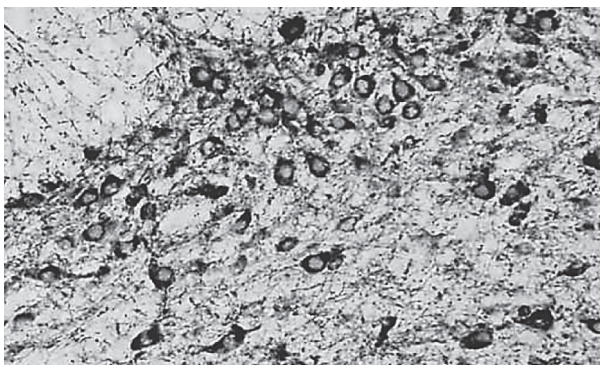


Рис. 2. Терминали ДА-ергических нейронов – конечные участки аксонов ДА-ергических нейронов – на серийных срезах стриатума

Их анализ позволяет оценивать функциональное состояние ДА-ергических нейронов

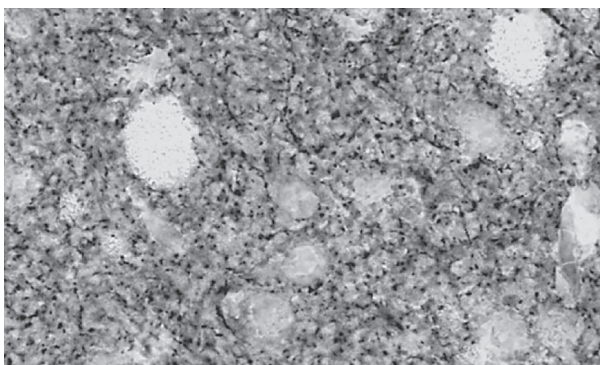
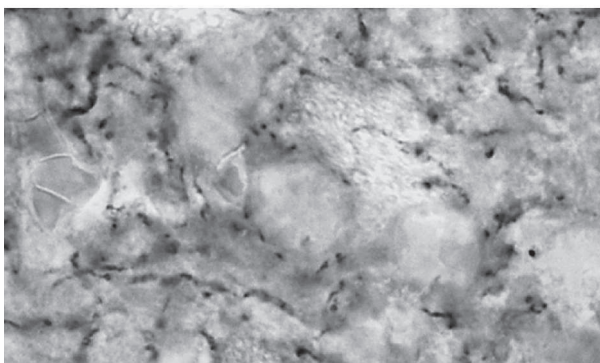
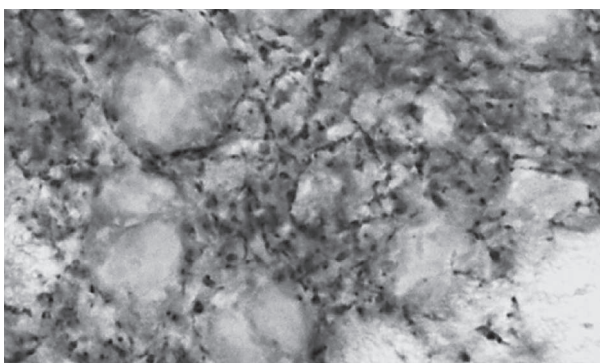


Рис. 3. Исходное изображение среза стриатума у животного в контроле (вверху) и в опыте (внизу)

Разница в количестве терминалей у животного из контрольной группы и опытной, подвергнутого воздействию нейротоксина, заметна невооружённым глазом. Предполагается, что ДА-ергические аксоны, сохранившиеся после воздействия нейротоксина и гибели части нейронов, должны обладать повышенной функциональной активностью



Существенным параметром модели БП является число ДА-ергических аксонов, иннервирующих стриатум при использовании различных схем введения нейротоксина (доза, количество инъекций, интервалы между инъекциями). Он позволяет оценить степень дегенерации нейронов под воздействием нейротоксина, определяемую как разность количества терминалей ДА-ергических аксонов в контроле и в опыте.

Разработанные математические методы и алгоритмические схемы специализированы для автоматизации: количественной оценки степени дегенерации ДА-ергических аксонов (терминалей) в стриатуме по разнице в количестве терминалей у экспериментальных животных после введения нейротоксина и в контрольной группе; оценки функционального состояния дистальных участков ДА-ергических аксонов (терминалей) в стриатуме.

Специализированная стандартная алгоритмическая схема содержит следующие этапы: 1) предварительная обработка: 1.1) открытие изображения с помощью реконструкции; 1.2) преобразование “дно шляпы” с помощью двойственной реконструкции; 1.3) закрытие изображения с помощью двойственной реконструкции; 1.4) преобразование, устраняющее h -максимумы изображения; 2) анализ изображений: 2.1) выделение внутренних и внешних маркеров объектов; 2.2) преобразование морфологического градиента по найденным маркерам, с помощью двойственной реконструкции; 2.3) выделение объектов с помощью алгоритма сегментации по морфологическим водоразделам; 3) построение описания объектов, представленных на анализируемых изображениях: 3.1) описание объектов морфологическими, денситометрическими и текстурными признаками; 3.2) использование методов последовательного отбора признаков для выделения набора информативных признаков; 3.3) описание объектов набором информативных признаков; 4) классификация объектов, представленных на изображениях: 4.1) кластеризация объектов; 4.2) интерпретация полученных результатов.

Этапы, отнесённые к предварительной обработке и анализу изображений (этапы № 1.1–2.3) основаны на следующих операциях математической морфологии [7]: открытие, тоновая реконструкция, закрытие, преобразование “дно шляпы”, морфологический градиент, морфологический водораздел. Эти этапы обеспечивают: сглаживание неоднородного сложного фона, выделение мелких объектов, удаление объектов, находящихся не в фокусе, разделение близко находящихся объектов, вычисление характеристик выделенных объектов. Результатом выполнения первых двух этапов схемы является двоичное изображение контуров выделенных объектов и список значений характеристик, подсчитанных для каждого выделенного объекта. На третьем этапе построения описания объектов, представленных на анализируемых изображениях, выделяется набор информативных признаков, требующий интерпретации специалистами по исследованию БП. На четвёртом этапе классификации объектов, представленных на изображениях, объекты делятся на информативные группы (кластеры), характеристики которых также предлагаются экспертам по исследованию БП для детального анализа.

Специализированная алгоритмическая схема явилась основой для программной системы, переданной в Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН и используемой в настоящее время для автоматизации наполнения и исследования моделей БП экспериментальными данными. Большинство

алгоритмов, реализующих разработанный метод, имеют полиномиальную сложность, что доказывает их эффективность.

Программная система обеспечивает следующие возможности: 1) автоматическую сегментацию всех исследуемых объектов на изображении среза; 2) определение морфологических характеристик помеченных объектов (диаметр, площадь, форм-фактор); 3) определение денситометрических характеристик помеченных объектов (определение оптической плотности ТГ-ИР материала); 4) сохранение всех результатов работы в БД; 5) возможность обработки изображений, разделённых на задаваемые исследователем группы; 6) автоматическую группировку исходных изображений различными способами (по всем парам экспериментальных животных, по различным областям мозга, по направлению срезов); 7) вычисление статистических характеристик вычисленных оценок и проверку гипотез о достоверности различий опытной и контрольной групп на заданном наборе изображений.

Точность полученных результатов оценивалась путём проверки гипотез о совпадении распределений характеристик терминалей при автоматическом выделении и при выделении вручную по критерию Колмогорова–Смирнова. Для сравнения результатов автоматического и ручного выделения терминалей случайно выбранные прямоугольные фрагменты исходных изображений были обработаны экспертами в области БП и с помощью предложенного метода. Установлено, что разработанный метод позволяет получить результаты с точностью не меньшей, чем при ручном выделении объектов. Точность полученных результатов оценена также путем подсчёта экспертами процента правильно выделенных объектов после автоматической обработки изображений, она составила 93%. Имеющийся опыт использования программной системы показывает, что она обеспечивает повышение производительности труда экспериментатора в 200 раз и сокращение необходимого количества экспериментальных животных и расходных материалов в 10 раз. На рисунке 4 – исходное изображение с помеченными на нём границам терминалей, выделенных с помощью разработанного метода, и то же изображение с контурами объектов, выделенных вручную.

С помощью разработанного метода проанализированы также полученные после воздействия нейротоксина срезы аркуатного ядра гипоталамуса, содержащие дофаминергические терминали. Число обработанных изображений составило порядка 2000. В результате получены данные о воздействии нейротоксина на тубероинфундибулярную систему мозга мышей, что является первой на сегодняшний день попыткой оценить функциональное состояние этой системы.

Разработанный математический аппарат может быть также использован для автоматизации анализа многих других классов биомедицинских изображений. Анализ и понимание изображений для математиков оказались весьма трудной задачей, поскольку изображение – крайне неудобная для математической обработки форма предоставления информации. В задачах, связанных с исследованиями мозга, приходится работать с динамическими изображениями, что ещё больше усложняет анализ. Работа с такими нетрадиционными видами информации для математиков достаточно долго не являлась предметом интересов, это направление не развивали. Серьёзные изыскания начались в 1950-е годы, они активно продолжаются и сегодня. К настоящему

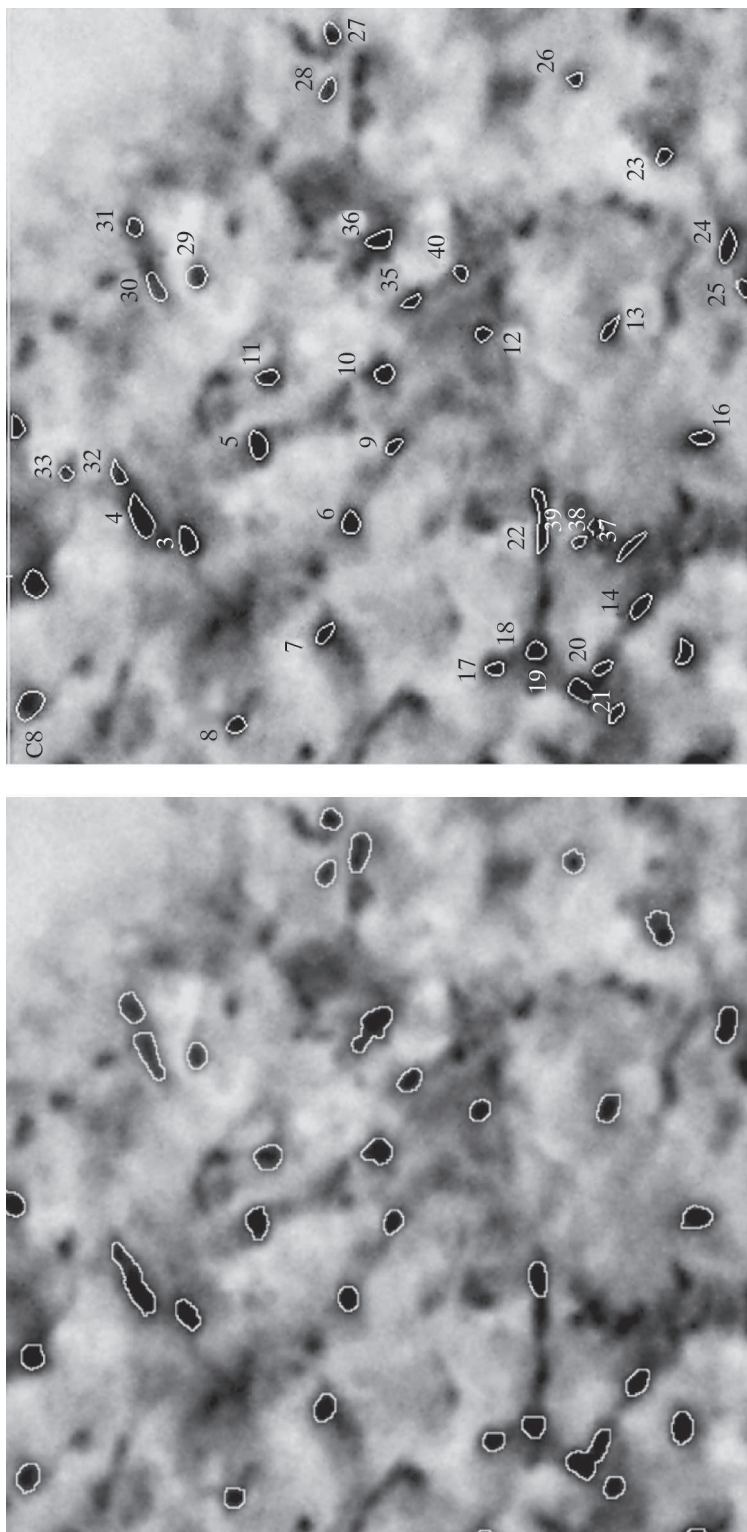


Рис. 4. Распределение терминалей, выделенных в автоматическом режиме (слева) и вручную (справа)
 В автоматическом режиме вычисляются количественные характеристики не только каждой из терминалей, но и всего среза в целом.
 Контуры терминалей, выделенных вручную, лишь приблизительно соответствуют их границам

времени выделена целая совокупность математических методов, которые позволяют приводить изображение к виду, допускающему применение эффективных алгоритмов. Такие формализованные представления изображения (модели – изображения, приведённые к виду, удобному для распознавания) – необходимая основа для моделирования, распознавания, вычисления характеристик, выделения регулярностей и свойств, принятия интеллектуальных решений. Эти методы в фундаментальной части в определённой мере отработаны и многократно практически проверены. В этом смысле вполне правомерно говорить о формировании математической теории анализа изображений и достижении ею определённой степени зрелости. Но, естественно, она ещё не достигла степени развития математической теории распознавания образов, существенные элементы которой используются при работе с изображениями.

Чрезвычайно существенен вклад в математические теории распознавания образов и анализа изображений отечественной математической школы, фундаментальные результаты которой, в частности, в области алгебраических методов распознавания образов и анализа изображений определяют в настоящее время мировой уровень.

В рамках указанных теорий и прикладных разработок, выполненных на их основе, учёные и специалисты, занятые исследованием мозга, могут найти обширный набор методов и средств, необходимых для перехода к реальной автоматизации научных исследований, извлечения информации и знаний из результатов экспериментальных исследований и, в некоторой степени, для моделирования мозга и его функций. Для прикладного анализа изображений разработаны и готовы к использованию стандартные постановки задач, алгоритмические схемы и алгоритмические библиотеки. Используя эти инструменты, исследователь может синтезировать необходимую алгоритмическую схему обработки и анализа данных из стандартных алгоритмических блоков. Следующим этапом развития является разработка на базе этого инструментария стандартных информационных технологий и алгоритмическо-программных комплексов, специализированных для обработки и анализа данных, получаемых при исследованиях мозга. Примеры отечественных разработок такого рода для анализа и оценивания медицинских изображений уже имеются [8–10]. Естественно, для исследований мозга должны быть разработаны специализированные БД, базы знаний, GRID-системы (связывающие ведущие научные центры в области исследования мозга и анализа изображений), автоматизированные рабочие места исследователя.

В области собственно моделирования ситуация выглядит достаточно сложной. Весьма интересные работы в этой области ведутся в ряде российских научных организаций, среди которых можно отметить Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН (Москва), Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН (Москва), Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (Москва), Институт математических проблем биологии РАН (Пущино), Институт прикладной физики РАН (Нижний Новгород), Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН (Москва), Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва), Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (Москва), Институт систем обработки изображений РАН (Самара), Институт теоретической и

экспериментальной биофизики РАН (Пушино-на-Оке), Научно-исследовательский институт системных исследований РАН (Москва), Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН (Санкт-Петербург), НИИ нейрокибернетики им. А.Б. Когана Южного федерального университета (Ростов-на-Дону), Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (Нижний Новгород), Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург), Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ” (Санкт-Петербург), Российский научный центр “Курчатовский институт” (Москва) и ряд других.

Решаемые задачи чрезвычайно разнообразны и часто не вписываются в какую бы то ни было стратегию исследований. Каждая задача рассматривается индивидуально – в связи с этим отсутствует систематизация постановок задач, методов их решения и уж тем более используемых математических и имитационных моделей. С существенными и, заметим, принципиальными трудностями сталкиваются попытки формализации и алгоритмизации информационных процессов головного мозга, что в результате препятствует постановке и проведению машинных экспериментов. Все эти обстоятельства сильно осложняют эффективное применение математических и информационных методов. Для их преодоления необходимы в первую очередь усилия специалистов в области исследований мозга, связанные с формулированием и выделением основных типов и классов механизмов и процессов работы мозга на разных уровнях с тем, чтобы затем можно было систематизировать и на этой основе выбирать, адаптировать и формировать адекватные математические постановки задач, методы и модели. Только после выполнения систематизации задач и, быть может, моделей, применение математических методов и методов информатики в исследованиях мозга, связанных с моделированием, достигнет уровня, соответствующего их современным возможностям.

В последние годы отдельными представителями так называемой нейроинформатики, в том числе зарубежными, начали высказываться претензии на создание некоторых универсальных моделей, обеспечивающих возможность решения абсолютно различных (чуть ли не любых) задач. Часто оказывается, что на самом деле речь идёт о частных эвристических методах, не имеющих должного или хоть какого-либо математического обоснования, но пригодных для решения отдельных частных (иногда удачно подобранных) задач. В этой ситуации требуется проявлять существенную аккуратность и осторожность, выполнять многократную и тщательную проверки. Дело в том, что методы, связанные с анализом изображений на стадии принятия интеллектуальных решений непосредственно сопряжены с коммерческими интересами. Если указанные претензии на универсальность сопровождаются активной рекламой (особенно это относится к западным коллегам), она, помимо всего прочего, приносит и очень большой доход. Между тем реклама зачастую бывает не то чтобы недоброкачественной, но, во всяком случае, не до конца обоснованной и корректной.

Необходимо остановиться еще на одной научно-организационной проблеме. В последнее время из околonaучных и журналистских кругов поступают заявления, суть которых сводится к тому, что российская наука не может прожить без руководства и наставничества зарубежных ученых, в час-

тности, в последнее время речь идёт о наших соотечественниках, ставших специалистами в СССР или РФ, но в трудное время страну покинувших и в настоящее время работающих где-то за её пределами. Не будем говорить обо всех областях науки – остановимся на распознавании образов и анализе изображений, т.е. тех разделах прикладной математики и информатики, в которых фундаментальные результаты учёных РАН определяют мировой уровень или ему соответствуют. По данным Национального комитета РАН по распознаванию образов и анализа изображений в настоящее время за рубежом ни один наш соотечественник не ведёт активную научную работу в данной области. Отметим также, что число эмигрировавших видных учёных в данной области составляет единицы. Естественно, рабочие руки всегда пригодятся, однако вряд ли целесообразно приглашать в качестве руководителей исследований в РАН специалистов, оторвавшихся от отечественных научных школ (или никогда к ним не принадлежавших), и создавать для них привилегированные условия. Приглашаемые учёные и специалисты должны работать в институтах РАН на тех же условиях, что и российские ученые и специалисты, претерпевшие, кстати, все прелести реформирования российской науки, не покидая своего рабочего места. Как нам кажется, первоочередная поддержка в РАН должна оказываться научной молодёжи, достойной того и желающей здесь работать, и сложившимся отечественным научным школам.

В заключение отметим, что отечественный научный и в определённой степени практический задел в области распознавания образов и анализа изображений позволяет непосредственно приступить к широкому реальному использованию соответствующих методов и алгоритмических схем в автоматизации анализа и оценивания результатов экспериментальных исследований мозга и разработке соответствующих специализированных информационных технологий и алгоритмическо-программных комплексов. Одновременно необходимо заняться систематизацией того, что сделано в нашей стране – задел в этой области колоссальнейший. Он, к сожалению, недостаточно систематизирован, не все ведущие исследовательские центры достаточно хорошо связаны друг с другом. Установление необходимых связей, координация стратегических и тактических целей исследований, проведение “инвентаризации”, систематизации и стандартизации, несомненно, даст возможность занять в этой области ведущие позиции в мировой науке.

Литература

1. Журавлёв Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания и классификации // Проблемы кибернетики. Вып. 33. М.: Наука, 1978.
2. Gurevich I.B. Descriptive Technique for Image Description, Representation and Recognition // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications in the USSR. 1991. V. 1. P. 50–53.
3. Gurevich I.B., Yashina V.V. Descriptive Approach to Image Analysis: Image Models // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. Pleiades Publishing, Inc. 2008. V. 18. № 4. P. 518–541.
4. Gurevich I.B., Salvetti O., Trusova Yu.O. Fundamental Concepts and Elements of Image Analysis Ontology // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. L.: Pleiades Publishing, Ltd., 2009. V. 19. № 4. P. 603–611.

5. Gurevich I., Koryabkina I., Kozina E. et al. A Method for Automatic Extraction of Dopaminergic Neuron Terminals on Striatum Frontal Section Images // Image Mining Theory and Applications: Proceedings of the 2nd International Workshop on Image Mining Theory and Applications – IMTA 2009 (in conjunction with VISIGRAPP 2009), Lisboa, Portugal, February 2009 / Eds. I. Gurevich, H. Niemann, O. Salvetti. Portugal: INSTICC PRESS, 2009. P. 30–39.
6. Gurevich I.B., Yashina V.V., Koryabkina I.V. et al. Descriptive approach to medical image mining, an algorithmic scheme for analysis of cytological specimens // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. 2008. V. 18. № 4. P. 542–562.
7. Soille P. Morphological Image Analysis: Principles and Applications. Berlin: Springer, 2004.
8. Gurevich I., Harazishvili D., Jernova I. et al. Information Technology for the Morphological Analysis of the Lymphoid Cell Nuclei // Proceedings of the 13th Scandinavian Conference on Image Analysis (SCIA 2003), 29 June 2003–2 July 2003. SCIA 2003, LNCS 2749. P. 541–548.
9. Gurevich B., Khilkov A.V., Koryabkina I.V. et al. An Open General-Purposes Research System for Automating the Development and Application of Information Technologies in the Area of Image Processing, Analysis, and Evaluation // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. Pleiades Publishing, Inc. 2006. V. 16. № 4. P. 530–563.
10. Colantonio S., Gurevich I., Salvetti O., Trusova Yu. An Image Mining Medical Warehouse // Image Mining Theory and Applications: Proceedings of the 1st International Workshop on Image Mining Theory and Applications – IMTA 2008 (in conjunction with VISIGRAPP 2008), Funchal, Madeira, Portugal, January 2008. INSTICC PRESS, 2008. P. 83–92.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА Ю.С. ОСИПОВА

Прошедшая сессия оказалась чрезвычайно интересной и содержательной. Я давно не наблюдал такого единения академического сообщества. Это замечательно!

С того момента, когда я выступил с идеей проведения сессии на такую тему, времени прошло достаточно много, и теперь можно сказать, что у некоторых моих коллег это не вызвало особого энтузиазма. Но когда стали обсуждаться детали, участие специалистов разных научных направлений, отношение, как мне кажется, полностью изменилось. И сессия получилась выдающейся. Мы слышали блестящие, очень содержательные и красивые по форме доклады. Это, безусловно, заслуга авторов, и нам следует их поблагодарить. Очень содержательной и полезной была дискуссия.

Считаю, что в Академии наук работы по проблеме мозга должны быть в той или иной форме поддержаны, даже в пределах тех скромных средств, которыми мы располагаем. Это моя точка зрения, окончательное решение принимает Президиум академии. Не думаю, что нужно инициировать какую-то новую специальную программу. У нас есть эффективная программа “Фундаментальные науки – медицине”. В её рамках можно усилить соответствующую подпрограмму.

Если говорить о серьёзной межведомственной программе, о кооперации и координации деятельности с Академией медицинских наук и с Академией образования, то совместные усилия должны быть не на бумаге – они должны выражаться в том числе и в денежном эквиваленте. Нужно думать над тем, какими средствами мы располагаем. Может быть, следует побудить Минздравсоцразвития России объявить собственную специальную программу по исследованию и заболеваниям мозга, привлечь к этому Министерство образования и науки РФ.

Не вызывает сомнений, что сейчас изучение мозга и разнообразные смежные проблемы, связанные с этим, находятся на острие современной науки. Это не преувеличение. За рубежом на исследования в этой области выделяют крупные средства, поскольку есть понимание того, что продвижение в изучении мозга окупится сторицей, причём не в отдалённом будущем, а в самое ближайшее время. Я очень доволен результатами состоявшейся научной сессии, думаю, мы можем поздравить друг друга с её успехом.

**О НАУЧНОЙ СЕССИИ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
“МОЗГ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ”**

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РАН

Научная сессия Общего собрания Российской академии наук, обсудив современные достижения в исследовании функций мозга – одного из важнейших фундаментальных и социально значимых научных направлений, отмечает, что в институтах РАН проводятся междисциплинарные исследования молекулярных, клеточных и генетических механизмов интегративной деятельности мозга и его роли в регуляции функций организма и поддержании гомеостаза. Наряду с фундаментальными исследованиями деятельности здорового мозга, анализируются механизмы патологических процессов, а также разрабатываются новые методы диагностики и лечения заболевания мозга с помощью лекарственных средств и клеточных технологий. Для автоматизации анализа экспериментальных данных и моделирования деятельности мозга разрабатываются и применяются новые математические методы.

Общее собрание Российской академии наук считает положительным, что, наряду с биологами, в программах фундаментальных исследований Президиума РАН и отделений РАН в изучении функций мозга участвуют химики, физики, математики, специалисты в области информационных технологий и гуманитарных наук.

Общее собрание Российской академии наук отмечает, что по ряду направлений исследований функций мозга достигнуты значительные успехи, особенно в изучении межнейрональной сигнализации, физиологии сенсорных систем, интегративных механизмов мозга, его развития, а также автоматизации анализа экспериментальных данных. Это в первую очередь обусловлено сохранением школ И.М. Сеченова, И.П. Павлова, В.М. Бехтерева, Л.А. Орбели, возглавляемых их учениками и последователями.

Успехи учёных в России в области нейронаук могли бы быть приумножены при дополнительной организационной и финансовой поддержке со стороны государства, РАН, а также Российского фонда фундаментальных исследований и Российского гуманитарного научного фонда.

Руководствуясь “Основами политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2015 года и дальнейшую перспективу”, учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на настоящей научной сессии результатов фундаментальных и прикладных исследований мозга, Общее собрание Российской академии наук ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Считать перспективными направления исследований деятельности мозга, проводимых в Российской академии наук в рамках программ Президиума Российской академии наук и отделений РАН.

2. Усилить междисциплинарные фундаментальные исследования мозга по программам Президиума РАН и отделений РАН, к выполнению которых привлечены исследователи естественных и гуманитарных наук.

3. Уделить особое внимание созданию максимально благоприятных условий для изучения механизмов функционирования мозга – межнейрональной сигнализации, пластичности нейронов, сенсорных процессов, поведения и высших психических функций, интегративной деятельности мозга с участием нервной и нейроэндокринной регуляций важнейших функций мозга и висцеральных систем.

4. В соответствии с приоритетными направлениями развития науки на базе новых фундаментальных знаний о деятельности мозга принять участие в разработке новых технологий, которые могут быть использованы для диагностики и лечения социально значимых заболеваний нервной системы. Создать благоприятные условия для конструирования приборов, предназначенных для диагностики и лечения заболеваний мозга, развития исследований по созданию нового поколения инновационных лекарственных препаратов на основе современной методологии органического синтеза, разработки новых математических подходов к автоматизации анализа экспериментальных данных и моделированию деятельности мозга.

5. Поручить Президиуму РАН:

5.1. Обратиться в Минздравсоцразвития России, Минобрнауки России, Минэкономразвития России, Российскую академию медицинских наук, в другие государственные академии с предложением о создании межведомственной программы по исследованию деятельности мозга.

5.2. Проработать вопрос о возможности создания Общественного фонда с целью финансирования исследований деятельности мозга, а также разработки новых технологий диагностики и лечения заболеваний нервной системы.

5.3. Проинформировать заинтересованные федеральные органы исполнительной власти об итогах работы научной сессии Общего собрания Российской академии наук “Мозг: фундаментальные и прикладные проблемы”.

6. Поручить Научно-издательскому совету РАН и Отделению биологических наук РАН подготовить к публикации материалы научной сессии Общего собрания Российской академии наук “Мозг: фундаментальные и прикладные проблемы”, а ГУП «Академиздатцентр “Наука” РАН» издать их в виде отдельной книги.

7. Отделению биологических наук РАН подготовить и в установленном порядке представить Президиуму РАН на утверждение План мероприятий по выполнению настоящего постановления сессии Общего собрания Российской академии наук с учётом предложений, высказанных в ходе дискуссий.

*Президент Российской академии наук
академик Ю.С. ОСИПОВ*

*Главный учёный секретарь
Президиума Российской академии наук
академик В.В. КОСТЮК*

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РАН

“Наноструктуры и нанотехнологии”. “Экономика знаний: уроки для России”

19 декабря 2002 г.

Углеродные нанотрубные структуры – новый материал для эмиссионной электроники. Ю.В. Гуляев	4
Литография на длине волны 13 нм. С.В. Гапонов	8
Нанoeлектронные приборы и технологические процессы. Е.П. Велихов	13
Исследования в области квантовых технологий в информатике и метрологии. К.А. Валиев	21
Органические наноматериалы, наноструктуры и нанодиагностика. М.В. Ковальчук	30
Биочипы в биологии и медицине XXI века. А.Д. Мирзабеков	39
Нанокристаллические структуры – новое направление развития конструкционных материалов. Н.П. Лякишев	54
Неорганические наночастицы в природе. О.А. Богатилов	60
Экономика знаний: уроки для России. В.Л. Макаров	65
Заключительное слово президента РАН академика Ю.С. Осипова	74
Постановление Общего собрания Российской академии наук	76

СЕССИЯ СОВМЕСТНОГО ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК И РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ МЕДИЦИНСКИХ НАУК

“Наука – здоровью человека”

16–18 декабря 2003 г.

Вступительное слово президента РАН академика Ю.С. Осипова	78
Вступительное слово президента РАМН академика В.И. Покровского	79
Выступление заместителя председателя Правительства РФ члена-корреспондента РАН Б.С. Алешина	81
Здоровье населения России. Ю.Л. Шевченко	82
Медицинская наука – здоровью человека и общества. В.И. Покровский	87
От фундаментальной разработки до лекарства. Р.В. Петров	95
Современные принципы конструирования лекарств. Н.С. Зефирова	106

Олигонуклеотиды – основа ген-направленных терапевтических препаратов. <i>В.В. Власов</i>	112
Постгеномные технологии и молекулярная медицина. <i>А.И. Арчаков</i>	119
Терроризм как фактор стресса. <i>Т.Б. Дмитриева</i>	128
Проблемы продовольствия и здорового питания. <i>Г.А. Романенко</i>	137
Демографические и этнокультурные аспекты здоровья в Российской Федерации. <i>В.А. Тишков, А.Г. Вишневский</i>	146
Духовное здоровье российского человека. <i>Н.П. Шмелев</i>	161
Художественное воспитание и жизненная среда человечества. <i>Д.О. Швидковский</i>	171
Постановление сессии совместного Общего собрания РАН и РАМН “Наука – здоровью человека”	175

**СОВМЕСТНАЯ НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК И УЧЕНОГО СОВЕТА
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
им. М.В. ЛОМОНОСОВА, ПОСВЯЩЕННАЯ 250-летию
МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

14–15 декабря 2004 г.

Вступительное слово президента РАН академика Ю.С. Осипова	180
Московский университет, Российская академия наук и наука в России. <i>В.А. Садовничий</i>	181
О возможных путях интеграции академической науки и образования. <i>В.В. Козлов</i> ...	202
50 лет квантовой электроники. <i>О.Н. Крохин</i>	210
Органическая химия – наукам о жизни. <i>Н.С. Зефирова</i>	223
Постановление Совместной научной сессии Общего собрания Российской академии наук и Ученого совета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, посвященной 250-летию Московского государственного университета	229

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РАН
“Энергетика России: проблемы и перспективы”**

20–21 декабря 2005 г.

Вступительное слово президента РАН академика Ю.С. Осипова	232
Основные проблемы энергетики России. <i>В.Е. Фортков, О.Н. Фаворский</i>	233
Топливо-энергетические ресурсы. <i>Н.П. Лавёров</i>	247
Атомная энергетика в настоящем и будущем энергообеспечения России. <i>А.Ю. Румянцев</i>	262
Выступления участников Общего собрания: председателя правления РАО “ЕЭС России” <i>А.Б. Чубайса</i> , члена-корреспондента РАН <i>Н.И. Воропая</i> , академика <i>И.В. Горынина</i> , академика <i>Н.Л. Добрецова</i> , члена-корреспондента РАН <i>И.В. Грехова</i>	267
Состояние исследований и перспективы термоядерной энергетики. <i>Е.П. Велихов, В.П. Смирнов</i>	278
Альтернативные источники органических топлив. <i>И.И. Моисеев, Н.А. Платэ, С.Д. Варфоломеев</i>	291
Фотосинтез и молекулярная энергетика. <i>В.П. Скулачёв, В.А. Шувалов</i>	308
Постановление научной сессии Общего собрания Российской академии наук “Энергетика России: проблемы и перспективы”	316

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ АКАДЕМИЙ,
ИМЕЮЩИХ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАТУС**
**“Здоровье и образование детей – основа устойчивого развития
российского общества и государства”**

5–6 октября 2006 г.

Вступительное слово президента РАН академика Ю.С. Осипова	320
---	-----

*Научные основы и научное сопровождение развития в 2007
и последующих годах национальных приоритетных проектов
в сфере здравоохранения, образования, сельского хозяйства
и обеспечения доступного жилья
с целью формирования здорового поколения россиян*

Здоровье детей и подростков – системообразующий фактор государственной политики в сфере здравоохранения и образования, национальной безопасности России. <i>М.И. Давыдов</i>	323
Воспитание и социализация в современной России: риски и возможности. <i>Н.Д. Никандров</i>	331
Современные достижения аграрной науки в обеспечении здорового питания детей. <i>Г.А. Романенко</i>	341
Здоровые города – здоровые дети: развитие отечественной градостроительной науки как основа укрепления здоровья детей, их всестороннего культурного и художественного воспитания, устойчивого развития современного общества. <i>А.П. Кудрявцев</i>	347
Санитарно-эпидемиологическое благополучие детей и подростков: состояние и пути развития. <i>Г.Г. Онищенко</i>	351

*Научные предпосылки выхода России из демографического кризиса,
развития национальных приоритетных проектов
в сфере здравоохранения, образования, сельского хозяйства
и обеспечения доступного жилья*

Демография современной России через призму социально-экономического развития. <i>В.Г. Костаков</i>	364
Взаимодействие властей и общества в формировании демографической политики. <i>С.И. Колесников</i>	366
Репродуктивное здоровье: проблемы и решения. <i>В.И. Кулаков</i>	371
Проблемы и перспективы строительства детских учреждений и их комплексов в Москве. <i>В.И. Ресин</i>	378
Решения научной сессии академий наук, имеющих государственный статус	383

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
“Русский язык в современном мире”

19 декабря 2007 г.

Русский язык – отражение национальной картины мира. Вступительное слово Президента РАН академика Ю.С. Осипова	398
Русская филология на современном этапе. <i>А.Б. Куделин</i>	401
Теоретические основы активного словаря русского языка. <i>Ю.Д. Апресян</i>	413
Проблема подлинности “Слова о полку Игореве”. <i>А.А. Зализняк</i>	421

Русская классическая литература и формирование образа России в мире. <i>В.Е. Багно</i>	425
Архив А.П. Платонова как общекультурное событие. <i>Н.В. Корниенко</i>	429
Русский язык и русскоязычное население в странах СНГ и Балтии. <i>В.А. Тишков</i>	439
Резолюция научной сессии Общего собрания РАН “Русский язык в современном мире”	449

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

“Научно-технологический прогноз – важнейший элемент стратегии развития России”

16–17 декабря 2008 г.

Вступительное слово президента РАН академика Ю.С. Осипова	452
Научно-технологическое обеспечение социально-экономического развития. <i>А.Д. Нешителов</i>	454
О перспективах глобального инновационного развития. <i>А.А. Дынкин</i>	461
Научно-технологические прогнозы и проблемы развития энергетики России до 2030 года. <i>А.А. Макаров</i>	467
Инновационное развитие России: сценарный подход. <i>Б.Н. Кузык</i>	481
Нанотехнологии микроэлектроники и энергетики. <i>Ж.И. Алфёров</i>	493
Химия в XXI веке. Взгляд в будущее. <i>В.А. Тартаковский, С.М. Алдошин</i>	501
Перспективы технологического перевооружения промышленности, науки и образования России на основе массовых суперкомпьютерных технологий. <i>Е.П. Велихов</i>	513
Фундаментальная и прикладная биотехнология – ответ на вызов XXI века. <i>К.Г. Скрябин</i>	521
Влияние технологического прогресса на перспективную структуру российской экономики. <i>В.В. Ивантер</i>	526
Заключительное слово президента РАН академика Ю.С. Осипова	532
О научной сессии Общего собрания Российской академии наук “Научно-технологический прогноз – важнейший элемент стратегии развития России”. Постановление Общего собрания РАН	533

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

“Мозг: фундаментальные и прикладные проблемы”

15–16 декабря 2009 г.

Вступительное слово президента РАН академика Ю.С. Осипова	536
Актуальные направления современной науки о мозге. <i>М.А. Островский</i>	538
Регуляторные функции мозга: от генома до целостного организма. <i>М.В. Угрюмов</i> ...	560
Молекулярные механизмы межнейронных взаимодействий. <i>Л.Г. Магазаник, Е.Е. Никольский</i>	573
Молекулярные механизмы регуляции рецепторов нейронов. <i>Е.В. Гришин, В.И. Цетлин</i>	587
Исследования когнитивных функций и современные технологии. <i>Б.М. Величковский</i>	597
Наука о мозге на пути к решению проблемы сознания. <i>А.М. Иваницкий</i>	608
Мозг и память: биология следов прошедшего времени. <i>К.В. Анохин</i>	620
Мозг и язык: врождённые модули или обучающаяся сеть? <i>Т.В. Черниговская</i>	629
Философские подходы к проблеме “Мозг и психика”. <i>Д.И. Дубровский</i>	636
Нейрохирургия и мозг. <i>А.Н. Коновалов</i>	644

Радиоэлектронные методы исследования функционирования мозга. <i>Ю.В. Гуляев</i>	652
Механизмы деятельности мозга. <i>С.В. Медведев</i>	659
Генетические подходы в исследовании функций мозга и психических заболеваний. <i>Е.И. Рогаев</i>	669
Медицинская химия для коррекции функций мозга. <i>С.О. Бачурин, Н.С. Зефилов</i>	682
Математические и информационные аспекты исследования мозга. <i>И.Б. Гуревич, Ю.И. Журавлёв</i>	692
Заключительное слово президента РАН академика Ю.С. Осипова	708
О научной сессии Общего собрания Российской академии наук “Мозг: фундамен- тальные и прикладные проблемы”. Постановление Общего собрания РАН	709

НАУЧНЫЕ СЕССИИ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ РАН
2002–2009

Художник *В. Яковлев*
Художественный редактор *Т.В. Болотина*
Технический редактор *Т.А. Резникова*
Корректоры *А.Б. Васильев,*
Р.В. Молоканова, Т.И. Шеповалова

Подписано в печать 12.11.2010
Формат 70×100¹/₁₆. Гарнитура Таймс
Печать офсетная
Усл.печ. л. 58,5. Усл.кр.-отг. 58,7. Уч.-изд.л. 58,0
Тип. зак.

Издательство “Наука”
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90

E-mail: secret@naukaran.ru
www.naukaran.ru

ППП “Типография “Наука”
121099, Москва, Шубинский пер., 6