



54

В 2012 г. мир отмечает 125-летие великого естествоиспытателя, агронома, ботаника, генетика, географа Николая Вавилова, автора фундаментальных обобщений в области наследственной изменчивости и иммунитета растений.

74

В Год российской истории мы вспоминаем одного из выдающихся государственных деятелей — вступившего на престол в 1462 г. великого князя Ивана III, объединившего вокруг Москвы значительную часть русских земель и добившегося окончательного освобождения нашей страны от монголо-татарского ига.



97

Свыше полутора тысяч экспонатов — уникальных реликвий прошлого и настоящего — знакомят нас с историей и достижениями научных школ старейшего в России Казанского университета, основанного в 1804 г.



**200 лет назад  
наша страна одержала  
победу над Францией  
в Отечественной войне  
1812 года. На защиту Родины  
встали все слои общества,  
яркими звездами засверкали  
полководческие таланты,  
геройски сражались солдаты  
и офицеры, развернулось  
массовое партизанское  
движение, оказавшее  
большую помощь армии.  
В результате разгрома  
наполеоновской армии,  
считавшейся до того  
непобедимой, не только была  
обеспечена государственная  
независимость России,  
но и коренным образом  
изменилось соотношение сил  
в Европе, что, несомненно,  
повлияло на дальнейший  
ход мировой истории.**

Редакция осуществляет  
продажу отдельных номеров  
журнала и подписку на него

Адрес редакции: 119049,  
Москва, ГСП-1,  
Мароновский пер, 26.  
Тел./факс: 8-499-238-43-10  
www.ras.ru

Издательство «Наука»: 117997,  
ГСП, Москва, В-485,  
Профсоюзная ул., 90

ОАО «Типография «Новости»,  
105005, Москва, ул. Ф. Энгельса, 46

Свидетельство о регистрации  
№ 014399 от 26.01.1996 г.

Подписано в печать 10.09.2012.  
Заказ № 1882

© Российская академия наук,  
Президиум,  
«Наука в России», 2012



# НАУКА В РОССИИ

№ 5 (191)  
2012

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРОБЛЕМЫ. ПОИСК. РЕШЕНИЯ

**Шпак В.** Плавкий предохранитель:  
история с продолжением..... 4

### ТЕХНИКА XXI ВЕКА

**Хализева М.** Ловушка для кориума ..... 14

### С МЕСТА СОБЫТИЙ

**Малыгина М.** «Сухое» хранение  
отработанного ядерного топлива ..... 19

### ТОЧКА ЗРЕНИЯ

**Курганова И., Кудеяров В.** Экосистемы России  
и глобальный бюджет углерода..... 25

### ИСТОРИЯ НАУКИ

Первооткрыватель космических ливней ..... 33

**Михайлин В.** «Способности» релятивистского  
электрона ..... 36

**Варламов В., Ишханов Б., Недорезов В.**  
Электромагнитные взаимодействия ядер..... 44

### ЮБИЛЯРЫ

**Авруцкая Т.** «Жизнь я привык связывать с наукой» ..... 54

Коллеги о Николае Ивановиче Вавилове ..... 63

**Ефанов В., Мартынов М., Пичхадзе К.**

Автоматические космические аппараты  
на службе науки..... 66

### ГОД РОССИЙСКОЙ ИСТОРИИ

**Перхавко В.** Первый «Государь всея Руси» ..... 74

**Мезенцев Е.** «Лев русской армии» ..... 84

### ПУТЕШЕСТВИЯ ПО МУЗЕЯМ

**Писарева С.** В диалоге со временем ..... 97

### ПАНОРАМА ПЕЧАТИ

Самолет-лаборатория «Оптик» ..... 72

Высоты солнечно-земной физики ..... 92

Притяжение Арктики..... 108



В 1829–1834 гг. выдающийся русский архитектор Осип Бове  
в честь победы нашей страны  
в Отечественной войне 1812 года воздвиг в Москве,  
на площади Тверской Заставы,  
величественную Триумфальную арку.  
В 1966–1968 гг. ее воссоздали в столице,  
на Кутузовском проспекте, неподалеку  
от Музея-панорамы «Бородинская битва»,  
включив в созданный тут историко-мемориальный комплекс,  
посвященный «грозе двенадцатого года» и ее героям.

**Триумфальные ворота.  
Середина XIX в. Литография Ф. Бенуа.**

# ПЛАВКИЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ: ИСТОРИЯ С ПРОДОЛЖЕНИЕМ

---

Член-корреспондент РАН Валерий ШПАК,  
директор Института электрофизики УрО РАН

---

**Электрофизика — наука молодая, но с большой историей. Под современным названием она выделилась в последней трети XX в., объединив разных специалистов — от физиков-теоретиков до инженеров-электриков. Однако ее истоки надо искать тремя веками ранее и они тесно связаны с открытием электричества — явления, резко изменившего весь ход развития мировой цивилизации.**

Одним из первых электрофизиков справедливо считают американского просветителя, государственного деятеля и ученого Бенджамина Франклина (иностраннй почетный член Петербургской АН с 1789 г.), чей портрет на стоцолларовой банкноте США. Он первым ввел понятие положительного и отрицательного полюсов в электричестве, объяснил роль диэлектрика в электрическом конденса-

саторе, создал электрический запал и бифокальные очки, предложил молниеотвод с заземлением. А первым российским электрофизиком был академик Петербургской АН (с 1740 г.) Георг Рихман, современник Михаила Ломоносова\*. К сожалению, сейчас его чаще упоминают как жертву шаровой молнии, а он

---

\*См.: Э. Тропп. На пути к универсальному знанию. — Наука в России, 2011 № 5 (прим. ред.).





**Институт электрофизики УрО РАН.**

автор оригинальных работ по электричеству и магнетизму, изобретатель первого настоящего электроизмерительного прибора — электроскопа со шкалой.

Кстати, если присмотреться к истории естественных наук повнимательнее, то мы увидим, что каждому крупному успеху в любой из них предшествовало появление какого-то нового прибора, имеющего прямое отношение к электрофизике. На разных этапах это были электронные микроскопы, спектрометры, томографы, сверхточные измерители времени и расстояний — всего не перечислить. Более совершенный инструментарий открывал окна в ранее неизведанные области, помогал исследовать явления, которые затем становились основой принципиально новой техники. Она же, в свою очередь, стимулировала создание следующего поколения приборов, и все повторялось сначала, только время между этими циклами сжималось, а периоды становились все короче. Впрочем, речь не только об инструментах для научных исследований. Сегодня электрофизические приборы используются во многих областях человеческой деятельности — они важная часть производственного оборудования и современных вооружений, космической и бытовой техники.

Границы любой науки условны, вот и электрофизика нередко вторгается в области порою весьма далекие от отведенных ей рамок, однако существуют объекты исследований, интерес к которым у ее представителей неизменен. Среди них сверхсильные электрические и магнитные поля, плотные потоки энергии, но особо нужно отметить быстротекающие процессы в различных средах и плазме. Ведь как любое вещество состоит из атомов и молекул, так и каждое явление составлено из коротких мгновений и их изучение открывает новые возможности, позволяет найти ключи к более глубокому пониманию окружающего нас мира.

Одно из двух учреждений РАН, у которых эта наука упоминается в названии, — Институт электрофизики в Екатеринбурге. В ноябре 2011 г. ему исполнилось четверть века. Здесь с самого основания небольшой

коллектив ученых и инженеров поставил целью занять передовую линию исследований, хотя это нелегко: в науке никто не знает заранее, в какой области произойдет очередной прорыв. Вот почему в основе работы любого ученого — многолетний кропотливый труд, сопровождающийся поиском решений, частыми неудачами и редкими находками. Случается, что в развитие принципов действия какого-нибудь простого устройства рождаются целые направления науки и техники. Таким устройством автором статьи выбран всем знакомый плавкий предохранитель: ведь сегодня трудно найти человека, который бы ни разу не держал его в руках.

Предохранитель (электрики называют его плавкой вставкой) представляет собой стеклянную или керамическую трубочку с металлическими контактами и тонкой проволокой внутри. От проходящего тока проволока нагревается, но если ток становится большим, то проволока плавится и разрывает цепь, защищая проводку от перегрева, а дом от пожара. Трудно предположить даже приблизительно, сколько таких немудреных деталей сегодня находится в работе. Только в автомобиле их больше десятка, а автомашин в мире свыше миллиарда. В блоке питания каждого телевизора, компьютера, в зарядном устройстве сотового телефона на случай короткого замыкания обязательно предусмотрен предохранитель. А у практичных англичан он присутствует даже в каждой электрической вилке! И хотя пожары от короткого замыкания электропроводки и сегодня не редкость, при расследовании их причин чаще всего выясняется, что в нужном месте не оказалось исправного предохранителя.

Казалось бы, какая современная физика может быть в этом незатейливом устройстве? И действительно, еще в середине XIX в. физики Джеймс Джоуль в Англии и Эмилий Ленц (академик Петербургской АН с 1830 г.) в России вывели соотношение между протекающим током и нагревом проводников, сейчас известного как закон Джоуля-Ленца. Чем больше ток, тем скорее проволока расплавляется и



**Установка для получения нанопорошков  
электровзрывом проволоочек.**

тем быстрее разрывается электрическая цепь. При очень больших токах проволоочка испаряется, да так быстро, что скачок температуры возбуждает ударную волну, скорость которой вписывается в явление, именуемое взрывом. При этом налицо все его признаки — яркая вспышка света, громкий звук и ударная волна, настолько ошутимая, что стеклянные корпуса предохранителей разлетаются в мелкие кусочки, поэтому для быстрodeйствующих устройств используют более прочную керамику.

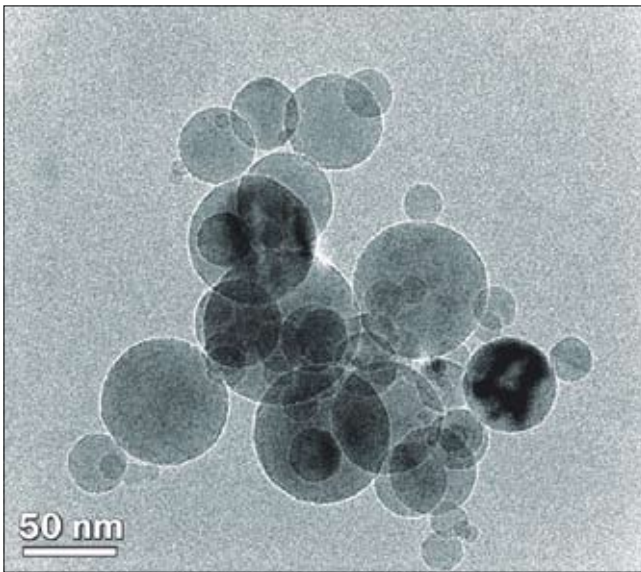
Со временем появилась теория взрывающихся проводников. Ее основное соотношение — произведение квадрата величины тока на время запаздывания взрыва проволоочки для каждого проводящего материала есть величина постоянная. Самыми быстрыми оказались легкоплавкие металлы и их сплавы. И делая из подручных средств кустарный предохранитель — жучок, мы грубо нарушаем все эти соотношения и такой суррогат никогда не будет полноценной заменой. Впрочем, несмотря на то, что сегодня существует множество более эффективных (и, естественно, более дорогих) многоразовых защитных устройств, простой одноразовый плавкий предохранитель по-прежнему обязательный элемент любых электроустановок. На всякий случай.

Казалось бы, тем исследование взрывающихся проводников должно бы и завершиться. Но, как это часто бывает, в процессе изучения обнаружилось множест-

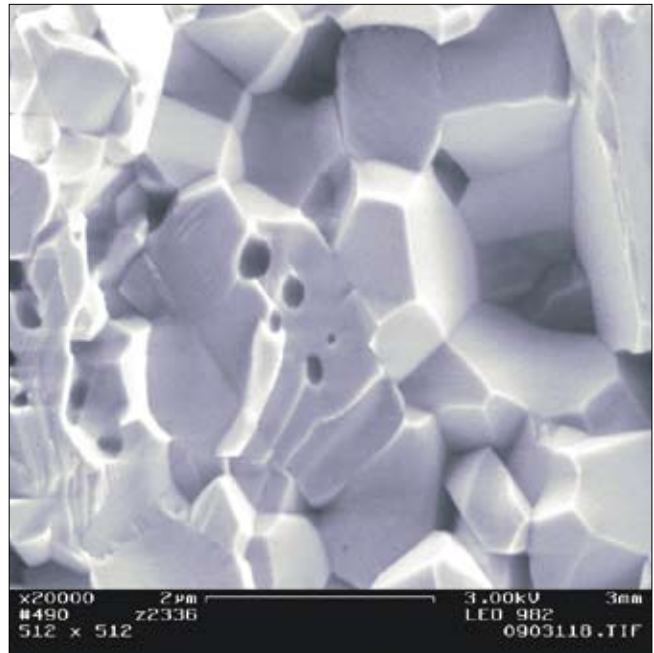
во интересных вещей. Например, поджигать пороховой заряд проволоочкой, нагретой электрическим током, придумал еще Бенджамин Франклин. Однако если намного ускорить рост тока через проводник, то скорость ударной волны может превысить скорость звука и перейти в диапазон, именуемый в физике детонацией. Так появились современные безопасные электродетонаторы, представляющие собой проволоочку, запрессованную в таблетку из трудноинициируемого взрывчатого вещества. Они не боятся ударов и, даже попав в огонь, просто сгорают. Срабатывают же лишь при пропускании через проволоочку мощного импульса тока от специального конденсатора.

А что же происходит с проволоочкой после взрыва? Оказалось, все зависит от скорости роста тока, материала проволоочки и среды, где происходит такой взрыв. Материал разлетается в виде пара и капель, которые, остывая, становятся мельчайшим порошком с размером частиц меньше микрона — наночастицами. И это едва ли не самое легкое состояние любого твердого вещества — литровая бутылка вмещает в себя всего 20–30 г такого порошка. Можно сказать, что в этом виде у материала почти нет массы, зато есть очень большая поверхность. Отсюда и необычные свойства нанопорошков, особенно их высокая химическая активность. Металлические нанопорошки приходится хранить в консервирующей жидкости или инертном газе — в воздухе они





Микрофотографии нанопорошков.



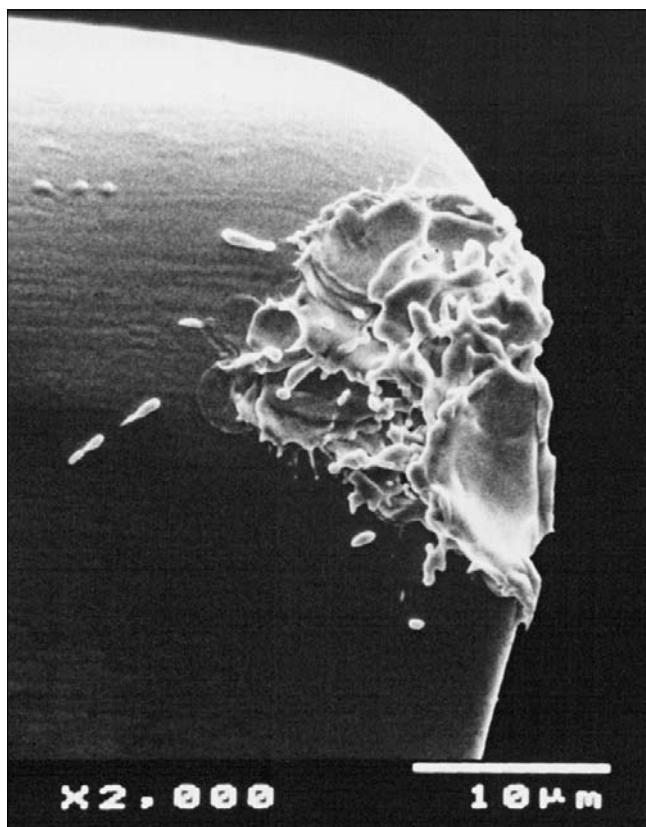
быстро окисляются. Столь мелкие частицы легко проникают сквозь тонкие перчатки и даже через кожу рук, поэтому работа с ними требует крайней осторожности. Не спасают и обычные респираторы, поэтому стоит только порадоваться, что присутствие в названиях многих товаров модной нынче приставки «нано» не более чем рекламная уловка. Наконец, в любой дорожной или строительной пыли всегда есть немного наночастиц — так называемая нанопракция.

В практике нанопорошки используют в виде добавок, либо из них прессуют различные детали, в том числе сверхпористые для суперфильтров и мембран. Естественно, для этого требуются нанопорошки разных материалов и в больших количествах. Взрывом проволочек получать их в промышленных масштабах довольно затратно, и в производстве используют другие технологии, в основном химические. Однако электрофизическими методами можно получать нанопорошки с необычными свойствами или сразу готовые их смеси из различных материалов. Взрывая проволочки в соответствующей газовой среде, например, в кислороде, можно получать оксиды — готовый материал для производства нанокерамик. При одновременном взрывании проволочек из различных материалов не требуется смешивание, при котором очень сложно обеспечить однородность. В последнее время для резкого увеличения производительности в нашем институте успешно используют мощные волоконные лазеры и сильноточные электронные пучки. Ими испаряют небольшие участки материала на массивной мишени, и тогда не нужно изготавливать тонкую проволоку и заменять ее после каждого взрыва.

Для получения готовых изделий нанопорошки прессуют. Этот процесс называется компактированием, и он оказался совсем непростым делом. Широко

используемые механические и гидравлические прессы для данной цели непригодны — внутренние силы трения порошка и прочность прессформ не позволили достичь нужных давлений и температур. И снова выручила электрофизика — там давно были известны механические свойства мощных импульсных магнитных полей. Магнитно-импульсные прессы создают так называемую мягкую волну сжатия при длительности воздействия 10–1000 мкс. Это позволяет обеспечить нужный разогрев прессуемой массы за счет трения порошка и избежать разрушения оснастки. Уже сейчас с помощью таких устройств делают сверхтвердые детали из алюминиевой нанокерамики, основой которой служит нанопорошок окиси алюминия. Пример таких деталей — тонкостенные трубки из оксидных керамик с субмикронной структурой разной плотности и пористости, например, для суперфильтров или электролитов твердо-оксидных топливных элементов — важнейшего звена устройств водородной энергетики.

Электротехника также не упустила возможность воспользоваться свойствами взрывающихся проводников в качестве быстрых прерывателей тока. Известно, что обрыв тока в электрической цепи, содержащей индуктивность, создает на ней перенапряжение тем большее, чем короче время обрыва. Все видели искру в размыкающихся контактах выключателя или в трамвайном токосъемнике: это как раз результат пробоя воздуха при перенапряжении. Такая искра может перейти в газовый разряд, именуемый электрической дугой, той самой, которую используют в электросварке или газоразрядных осветительных лампах. Однако в выключателях искру нужно как можно быстрее погасить, иначе и электрическая цепь не разомкнется, и контакты сгорят.



**Высокопрозрачная  
лазерная нанокерамика.**

**Поверхность электрода  
после взрывной эмиссии.**

Справедливости ради отметим: обрыв тока в катушке индуктивности уже давно используют для получения импульсов высокого напряжения. В старых школьных кабинетах еще остались катушки Румкорфа — высоковольтные импульсные генераторы, созданные в XIX в. немецким изобретателем, механиком Генрихом Румкорфом. В них ток разрывается механической контактной системой. Похожие по принципу действия генераторы применяли в системах зажигания карбюраторных двигателей внутреннего сгорания. При этом водителю приходилось регулярно чистить контакты прерывателя и регулировать зазор, поэтому они были заменены бесконтактными полупроводниковыми системами.

Итак, проблема любого прерывателя заключается в скорости обрыва тока, ведь чем больше последний, тем большее время нужно для его выключения. Ограниченная же скорость обрыва не позволяет создавать мощные устройства на основе индуктивных накопителей энергии, хотя они проще и примерно в 100 раз компактнее емкостных — конденсаторов. Здесь и пригодилось быстрое время обрыва тока взрывающихся проволочек. С их применением были разработаны импульсные генераторы с напряжением выше 1 млн вольт и током в сотни тысяч ампер. Пиковые, кратковременные мощности таких устройств достигают сотен мегаватт и сравнимы с соответствующими показателями крупных электростанций. Однако их очевидный и главный недостаток заключался в необ-

ходимости замены проволочки после каждого импульса и удаления продуктов взрыва, небезопасных, как показано выше. В итоге, как стало уже обычным в современной технике, на смену пришли полупроводниковые прерыватели. Однако их рождению предшествовала значительная работа. Ведь при обрыве тока и сам прерыватель должен выдерживать скачок напряжения. При использовании проволочки особых проблем не возникало, там существовало время формирования разряда, так называемая пауза тока. Но обычные полупроводниковые структуры пробивались и разрушались при первом же выключении. Как быть?

Базой для создания эффективных высоковольтных прерывателей стал обнаруженный в нашем институте в 1992 г. эффект резкого обрыва тока при переключении высоковольтных полупроводниковых диодных структур, названный SOS-эффектом (Semiconductor Opening Switch). Его авторами стали член-корреспондент РАН Юрий Котов и доктора технических наук Сергей Рукин и Александр Филатов.

Следует отметить: с перенапряжениями в электрических сетях из-за быстрых обрывов тока постоянно боролись разработчики мощных полупроводниковых выпрямителей. Выход они нашли в создании специальных диодов с так называемым «мягким», без резкого обрыва тока, выключением. В нашем институте использовали это вредное явление, обнаружив, что при последовательном включении большого числа





**Генератор на SOS-диодах С5-Н  
(1 МВ, 3,5 кА, 60 нс, 1000 Гц).**

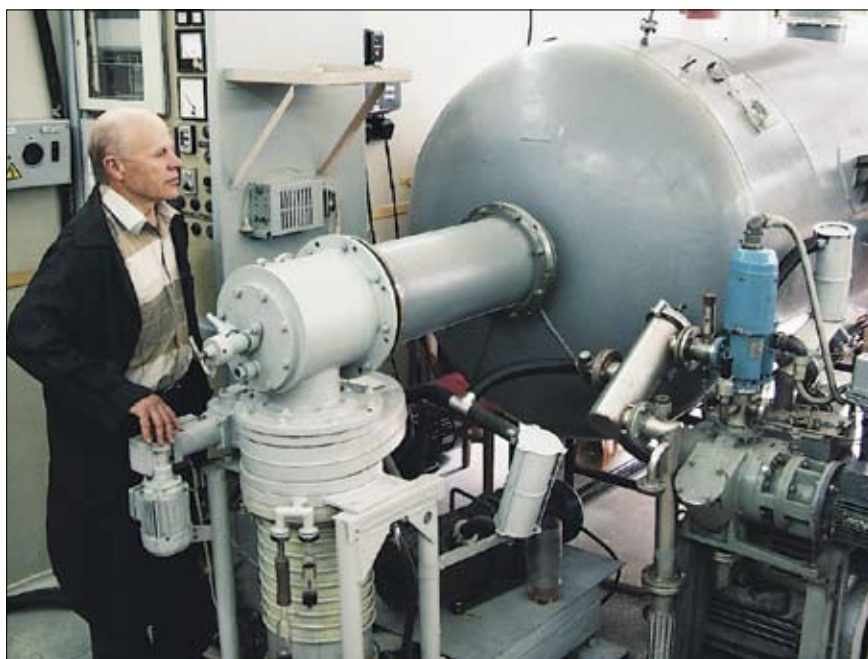
полупроводниковых структур обратное напряжение между ними при обрыве тока распределяется равномерно. Это позволяет практически неограниченно увеличивать выходное напряжение генератора без сложных и громоздких систем выравнивания напряжения, неизбежных при последовательном включении полупроводниковых диодов и к тому же потребляющих заметную часть энергии. Обнаруженное явление было сразу применено для генерирования мощных импульсов. И теперь предельное выходное напряжение, средняя и импульсная мощность устройств на SOS-диодах ограничены только возможностями систем охлаждения.

Уже есть полностью полупроводниковые генераторы с выходным напряжением до 1 мегавольта и частотой следования импульсов более 1000 импульсов в секунду. Их преимущество — большой срок службы и надежность работы в любых условиях. Такие генераторы используются в качестве «фабрики озона» для очистки воздуха от токсичных примесей. За цикл исследований и разработку нового класса устройств на основе SOS-эффекта группа сотрудников нашего института была удостоена Государственной премии РФ за 2004 г. Следует отметить ведущую роль в этой работе члена-корреспондента РАН Юрия Котова. Этот рано ушедший из жизни ученый обладал редкой способностью доводить все свои разработки до практического применения. На его счету также взрывные электродетонаторы, установки для производства нанопорошков и мощные генераторы на индуктивных накопителях.

Если не ставить задачу взорвать всю проволочку, то в принципе можно предложить такую форму межэлектродного зазора, когда катод выполнен в форме острия, и мы будем взрывать только его кончик. В этом случае ток в цепи может замкнуться через элек-



**Малогабаритный электронный стерилизатор  
на базе ускорителя РАДАН-303.**



**Вакуумный стенд для испытания электрореактивных двигателей.**

тронный поток с острия при условии, если напряжение между катодом и анодом будет достаточно высоким, чтобы электрическое поле на острие превысило  $10^7$  В/см. Такое поле способно преодолеть силу, удерживающую электроны в твердых телах при обычной температуре, и его достаточно для так называемой автоэлектронной (холодной) эмиссии. Сами по себе токи этой эмиссии по величине небольшие, микроамперные, но и сечения микроострий, через которые они проходят, тоже очень малы. Поэтому плотность тока через них достигает гигантских величин, до  $10^8$  А/см<sup>2</sup>, и этого уже вполне достаточно для взрыва микроострия за время около 1 нс (миллиардной доли секунды). Для сравнения: за это время свет в воздухе проходит расстояние всего лишь 30 см.

Как достигаются такие поля? Известно, что любая неровность поверхности электрода резко усиливает электрическое поле. Чтобы повысить электрическую прочность изоляции высоковольтные электроды даже полируют. Однако идеально ровных поверхностей вообще не существует, и соответствующие микрофотографии, сделанные с помощью электронного микроскопа, показывают: даже после оптической полировки на электродах остается множество микрон неоднородностей. Помимо них ту же роль «усилителей поля» могут играть и острые грани кристаллов, края тонких пленок загрязнений, микродефекты материала, остатки используемых при обработке абразивных порошков. Вот почему электрическая прочность изоляции газовых и вакуумных промежутков сильно зависит от состояния электродов.

Следует отметить, что совсем необязательно создавать неоднородности на катоде после каждого импульса. Понятно, что, взрываясь, неоднородности исчезают, поверхность катода полируется, увеличи-

вая этим электрическую прочность изоляции. Такой эффект называется тренировкой и широко используется при создании высоковольтных вакуумных и газоразрядных приборов. Однако было обнаружено обратное: если при тренировке увеличивать ток или длительность его прохождения, то поверхность катода становится еще более шероховатой, на ней появляются новые микрон неоднородности. Это позволяет создавать вакуумные и газовые разрядники со стабильными характеристиками и большим сроком службы.

И еще. При взрыве микроострия на катодном электроде формируется плазменный шарик (факел). Он разлетается с высокой (свыше 10 км/с) скоростью в вакуумный или газовый промежуток между двумя электродами — катодом и анодом. Эта плазма плотная и горячая (около 50 000°C), она не только ярко светится, но и является мощным источником заряженных частиц — электронов. Такой эффект был назван взрывной электронной эмиссией и зарегистрирован в 1976 г. как открытие группой сибирских и ленинградских ученых под руководством академика Геннадия Месяца, основателя, первого директора и научного руководителя нашего института, ныне вице-президента РАН и директора Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.

Исследование взрывной электронной эмиссии продолжается. Именно этот эффект признан ответственным за возникновение электрического пробоя газовой и вакуумной изоляции, поэтому его никак не обойти при создании любых высоковольтных приборов. Нашла применение и струя плазмы из катодного факела. Ее гиперзвуковая скорость — важный показатель для реактивного двигателя. Ведь чем больше скорость струи, тем меньше расход топлива при оди-

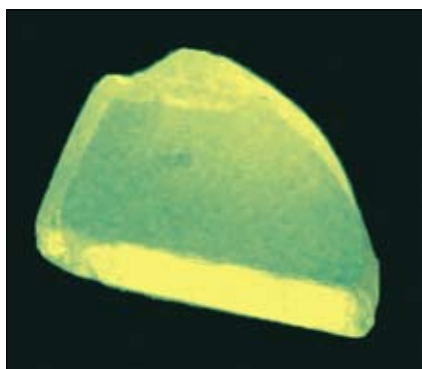
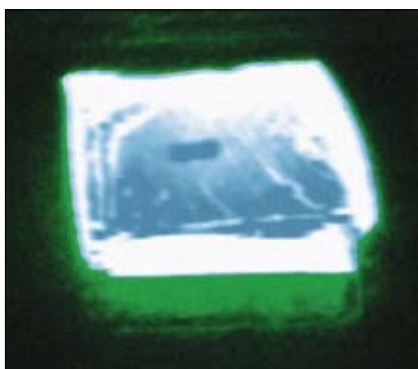
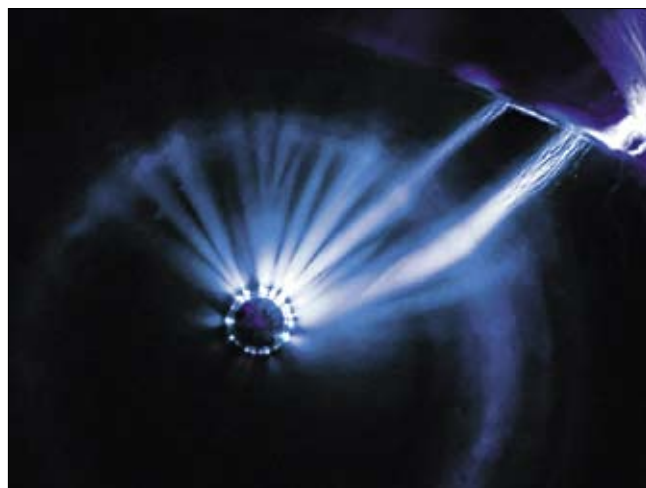


*Палатный рентгеноаппарат.*



*Малогабаритный ускоритель  
РАДАН-эксперт.*



Катодолюминесценция кристалла  $\text{NaF}_2$ .Катодолюминесценция кристалла  $\text{LiF}_2$ .

Импульсный пробой газа.

наковой тяге — это же прямой путь к увеличению ресурса космических аппаратов. Пока такие двигатели существуют в виде макетов, но специалисты НИИ машиностроения (г. Нижняя Салда, Свердловская область), чьи реактивные двигатели малой тяги успешно работают на Международной космической станции, настроены весьма оптимистично.

В настоящее время взрывная эмиссия — основа работы катодов, используемых в сильноточных ускорителях. Это так называемые ускорители прямого действия, т.е. у них на промежуток между анодом и катодом подается короткий импульс напряжения от десятков киловольт до нескольких десятков мегавольт. Этому напряжению и будет соответствовать максимальная энергия ускоренных электронов, она обычно измеряется в килоэлектронвольтах — кэВ. Уже при 100 кэВ скорость электронов становится близкой к скорости света. Таким образом, в принципе для подобного ускорителя требуются: источник высокого напряжения, достаточная вакуумная изоляция ускоряющего промежутка и эмиттер, позволяющий обеспечить нужный ток электронов от сотен до нескольких тысяч ампер. Естественно, кроме взрывных плазменных катодов, никакие другие эмиттеры обеспечить такие токи не могут. Для сравнения: самые распространенные оксидные термокатоды (их действие основано на использовании явления термоэлектронной эмиссии), известные нам по радиолам-

пам и кинескопам старых телевизоров, в состоянии обеспечить плотность тока только до  $100 \text{ А/см}^2$ , к тому же они работают при температуре около  $800^\circ\text{C}$  и очень требовательны к вакуумным условиям.

Естественен вопрос — для каких целей нужны столь мощные ускорители? Обычно их используют как инструмент для воздействия на различные материалы, либо с помощью мощных электронных пучков генерируют электромагнитные излучения. Достаточно отметить сделанное в 1895 г. великое открытие нобелевского лауреата Вильгельма Рентгена: лучи, названные его именем, произвели революцию в медицине, да и не только в ней. А возникает это явление при взаимодействии ускоренных электронов с электронной оболочкой атомов анода, поэтому такое излучение часто называется тормозным. Рентгеновская трубка и есть один из самых используемых ускорителей прямого действия. Естественно, чем больше ток пучка, тем мощнее излучение. В настоящее время в медицинских и промышленных рентгеновских трубках используются «старые добрые» термокатоды. Однако для скоростной рентгенографии требуются короткие, но мощные импульсы и там незаменимы катоды на основе взрывной эмиссии, не требующие нагрева. Импульсные рентгеноаппараты с применением холодных катодов имеют заметно меньшие габариты, потребляют меньше энергии и могут работать от аккумуляторов. Они незаменимы в поле-



**В коллективе Института электрофизики УрО РАН много молодых сотрудников.**



вых условиях, скажем, при рентгенодефектоскопии магистральных нефте- и газопроводов. Впрочем, уже существуют и передвижные установки, так называемые палатные импульсные рентгеноаппараты для медицинских стационаров.

В Институте электрофизики УрО РАН создан ряд ускорителей для различных целей. Самые большие размещаются в специальных залах, оборудованных мощной защитой персонала от вредного воздействия излучения, но есть и такие, которым достаточно небольшого чемоданчика. Прежде всего, сильноточные ускорители — очень эффективный инструмент, позволяющий проводить исследования в различных областях. Ведь короткие импульсы обладают большой мощностью при относительно небольшой энергии, поэтому позволяют получить результат, который недостижим при длительном воздействии, поскольку материал разрушается под действием тепла.

Однако электронный пучок ускоряется только в вакууме, а далеко не каждый образец можно поместить в вакуумную камеру. Для решения вопроса существуют электронные трубки с выводом ускоренных электронов из вакуума в воздух (используется их свойство проникать сквозь материалы). И если разогнать электроны до энергии 150 кэВ, то сквозь алюминиевую фольгу толщиной 50 мкм примерно половина их выйдет в воздух. А для него фольга будет надежным барьером и он не помешает работе трубки.

Одним из необычных применений такого ускорителя стал импульсный катодолюминесцентный анализатор, разработанный у нас под руководством доктора физико-математических наук Владимира Соломонова. В этой установке под действием мощного пучка электронов ярко светятся, люминесцируют все неметаллические материалы, в том числе и экзотические, в частности, алмазы. И каждый мате-

риал имеет свой неповторимый спектр люминесценции, по которому можно определить не только состав, например, минерала, но и месторождение, примеси и пр. Свечение регистрируется и анализируется спектрометром и поступает на компьютер, сравнивающий полученный спектр с имеющейся в его памяти базой данных. Понятно, что для таких анализов даже не требуются высококвалифицированные специалисты-минералоги. Более десятка таких приборов уже работают в российских лабораториях.

Среди многих мощных импульсных приборов, разработанных в нашем институте, рентгеноаппараты для промышленности и медицины, ускорители для быстрой поверхностной стерилизации медицинского инструментария и материалов, источники электромагнитных импульсов. Они успешно работают в исследовательских центрах и университетах 15 стран мира. За их разработку в 1998 г. группа наших сотрудников удостоена Государственной премии РФ.

И это только небольшая часть работ Института электрофизики. Исследования продолжаются, и трудно даже предположить, какие находки нас еще ждут впереди. А началось все с простого плавкого предохранителя.

*Работы поддержаны грантами РФФИ: 09-08-00101; 09-08-198; 10-08-000814; 10-08-00517.*

# ЛОВУШКА ДЛЯ КОРИУМА

---

Марина ХАЛИЗЕВА, журналист

---

**Авария на АЭС «Фукусима», произошедшая в 2011 г. в Японии в результате сильнейшего землетрясения и последовавшего за ним цунами, подстегнула развитие систем безопасности атомных станций.**

**Несомненный интерес в этом смысле представляет опыт российских специалистов. Спустя несколько лет после катастрофы на Чернобыльской АЭС (Украинская ССР, 1986 г.)**

**наши проектировщики и конструкторы предложили оригинальное изобретение — так называемую ловушку расплава или устройство локализации и охлаждения топливных масс при тяжелых авариях с плавлением активной зоны.**

**Установленное на ряде современных атомных блоков, в том числе зарубежных, оно уже получило признание во всем мире как гарантия безопасности станции. В критических ситуациях оно способно удерживать ядерное топливо, причем неограниченное время, не давая продуктам радиоактивного распада выходить за пределы конструкции, надежно защищая тем самым население и окружающую среду от губительной радиации.**

**Разработчиками важнейшего элемента АЭС стали научные организации государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» и их партнеры из академических институтов.**



*Подготовка высокотемпературных экспериментов по взаимодействию кориума с днищем реактора в Курчатовском институте.*



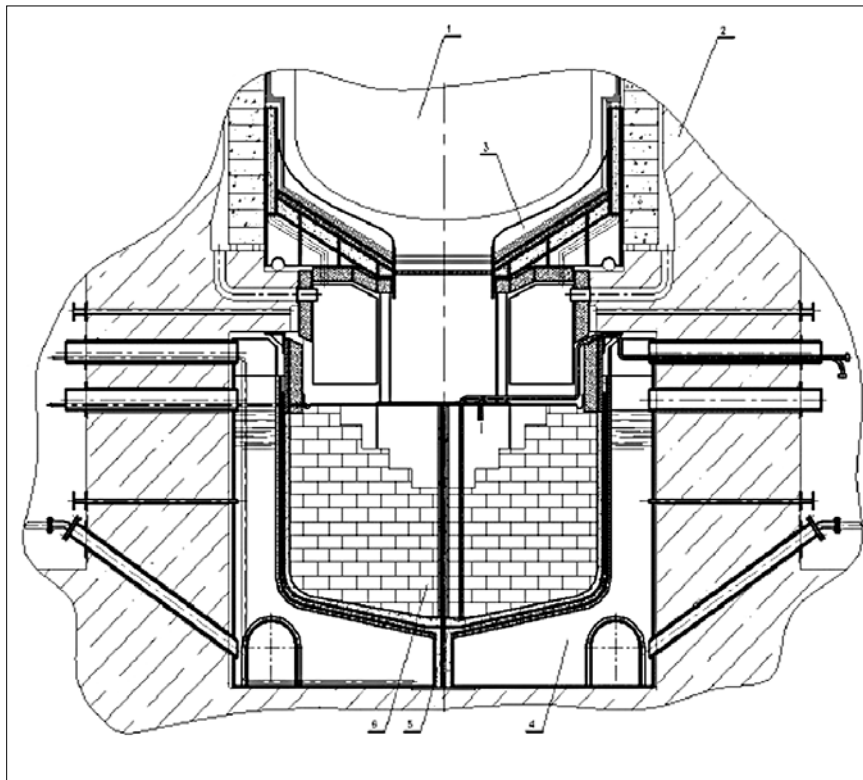
*Руководитель проекта «Расплав»  
доктор технических наук  
Владимир Асмолов.*

До событий на Чернобыльской АЭС атомную энергетику считали одним из основных источников энергообеспечения. Именно в 1980–1985 гг. она достигла наивысшего расцвета: суммарная мощность действовавших тогда в мире станций составляла 117 МВт. И планы последующего развития сулили дальнейшее увеличение этого показателя. Однако самая грандиозная техногенная катастрофа в небольшом украинском городке-спутнике Припять перечеркнула их — после 1986 г. наращивание энергогенерирующих мощностей прекратилось, а на рубеже 1990-х годов число закрываемых реакторов стало больше, чем вводимых в строй. Швеция, Италия и Австрия приняли в результате национальных референдумов решение об отказе от атомной энергетики, а Германия начала последовательно снимать с эксплуатации энергоблоки, построенные по советским проектам. Наша же страна искала решение волнующих проблем в разработке новых модернизированных проектов реакторных установок с применением усовершенствованного оборудования и внедрением дополнительных «пассивных», т.е. не требующих вмешательства оператора и электропитания, систем безопасности, способных в сочетании с традиционными значительно

повышать защищенность ядерных объектов. Ловушка расплава — уникальная разработка российских ученых — относится к последним рубежам «обороны» в случае серьезной радиационной аварии.

Внешне она похожа на большую стальную «скороварку» весом 800 т, заполненную кассетами с так называемым жертвенным материалом (гранулами оксидов алюминия и железа), устанавливаемую на дне шахты атомного реактора. В случае неконтролируемого развития событий на атомной станции сплав ядерного топлива и конструкционных материалов активной зоны (кориум) «стечет» в это устройство и среагирует химически и физически с жертвенным веществом, препятствуя выходу радиоактивных масс наружу.

Отметим, работа над созданием такой защиты началась в 1994 г., когда специалисты Российского научного центра «Курчатовский институт» во главе с руководителем проекта доктором технических наук Владимиром Асмоловым в кооперации с московским Институтом безопасного развития атомной энергетики РАН, Научно-производственными объединениями «Луч» (г. Подольск Московской области), «Электротерм» и «ТерМИКС» (Москва) организовали при участии зарубежных партнеров



**Принципиальная схема устройства локализации расплава:**

- 1 – корпус реактора;
- 2 – шахта бетонная;
- 3 – плита нижняя;
- 4 – теплообменник;
- 5 – корзина;
- 6 – наполнитель.

крупномасштабные высокотемпературные эксперименты по взаимодействию кориума с днищем корпуса водо-водяного энергетического реактора (ВВЭР). Основная задача состояла в том, чтобы построить математическую модель и коды для описания поведения расплава активной зоны в случае тяжелых аварий и дать рекомендации для их локализации в пределах АЭС. С этой целью в институте был создан комплекс мало-, средне- и крупномасштабных установок «Тигель», «Корпус», «Расплав-Salt» и «Расплав-AW-200» с рабочей температурой до 2700°C, где шли опыты с использованием натуральных прототипных материалов активной зоны — оксидов урана, циркония с металлическими составляющими, а также фторидов металлов, позволяющих моделировать теплогидравлические процессы в условиях, наиболее приближенных к реакторным. В результате была доказана возможность сохранения целостности корпуса реактора типа ВВЭР мощностью менее 1000 МВт (эл.) путем его охлаждения водой снаружи, а для установок большей мощности (ВВЭР-1000, 1500) обоснована необходимость создания специальных ловушек — устройств локализации расплава с «начинкой» из легких оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Первой такое оборудование должна была получить Тяньваньская АЭС в Китае, контракт на сооружение которой с помощью российских специалистов «Атомстройэкспорт» — ведущая инжиниринговая компания госкорпорации «Росатом» по строитель-

ству объектов ядерной энергетики за рубежом — подписал в 1997 г. В ходе проектных работ, выполнявшихся Санкт-Петербургским институтом «Атомэнергопроект», китайцы выдвинули жесткие требования по безопасности: при потере охлаждения реактора расплав не должен выходить за пределы энергоблока. Тут-то и пригодились рекомендации курчатовцев применить для этих целей ловушку.

Напомним, впервые подобные устройства начали внедрять для реакторов EPR европейцы. Французская компания «Framatome», работающая в тесном контакте с германской «Siemens», предлагала концепцию «внешней» локализации топливных масс. Кориум после проплавления корпуса реактора попадал сначала в так называемую «предловушку», накапливался там и только после приобретения определенной кондиции пробивал «пробку» и растекался в помещении размером примерно 170 м<sup>2</sup>, где затем охлаждался и кристаллизовался. Такой способ имел ряд недостатков, в частности, необходимость большой дополнительной территории внутри контейнмента (защитной оболочки). А компоновка распространенных у нас водо-водяных ядерных реакторов не позволяла делать это. Увеличивать же размер самого дорогого объекта АЭС наши специалисты считали непозволительной роскошью. И тогда «Атомэнергопроект» предложил Научно-исследовательскому технологическому институту им. А.П. Александрова (г. Сосновый Бор Ленинградской области) разработать в кооперации

**Тяньваньская атомная электростанция (Китай) — самый крупный объект экономического сотрудничества с Россией.**



с Проектно-конструкторским филиалом концерна «Росэнергоатом», Институтом химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН (Санкт-Петербург), Всероссийским НИИ химической технологии, Институтом безопасного развития атомной энергетики РАН и Курчатовским институтом (Москва) свой оригинальный проект защитного устройства.

Сосновоборцы попали в фокус внимания не случайно. С конца 1980-х годов здесь действовал Научно-промышленный центр атомной энергетики, занимавшийся разработкой ловушки с удержанием расплава в корпусе реактора ВВЭР-640 средней мощности (его предполагали установить в сосновоборском институте). Однако из-за недостатка финансирования заказ тогда заморозили, но полезные наработки остались. Они и послужили основой для оригинального изобретения россиян.

«Перед нами стояла непростая задача: на обоснование концепции ловушки отводилось примерно 3 года, — вспоминал в интервью сосновоборской газете «Маяк» доктор технических наук Владимир Хабенский. — А бюджет проекта был определен примерно в 1 200 тыс. дол., тогда как французы и немцы к моменту начала нашей работы потратили на свою разработку уже более 800 млн евро. То есть наш бюджет был в 800 раз меньше. Тем не менее с задачей мы справились».

В основу отечественного проекта положена тигельная конструкция — «железный бак», по выражению Хабенского, высотой и диаметром 6 м со стенками толщиной 6–9 см, устанавливаемый прямо под нижнюю плиту реактора. В аварийной ситуации обломки корпуса удержатся на этой плите, а расплав через «воронку» в верхней части бака попадет в ловушку с наружным водяным охлажде-

нием и подачей воды на поверхность ванны расплава. Находящийся внутри такой конструкции жертвенный материал должен выполнять несколько функций: гасить энергию кориума и снижать его температуру, достигающую 2,4 тыс. °С, предотвращать выброс водорода при окислении циркония, обеспечивать подкритичность расплава (невозможность возникновения цепной реакции). При этом он должен хорошо растворяться в кориуме для увеличения контакта массы со стенками охлаждаемого корпуса и уменьшения теплового потока на сооружение до безопасного уровня.

Над составом такой «начинки» работали ученые Института химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН под руководством директора академика Владимира Шевченко. В лаборатории члена-корреспондента РАН Виктора Гусарова удалось создать материал с запасом механической прочности на 60 лет. Образцы изготавливали на петербургском заводе «Магнетон», а промышленную технологию внедряли на Боровичском комбинате огнеупоров (город Боровичи Новгородской области). Сегодня его производственные линии способны выпускать до 200 т жертвенного материала (в виде темно-серых кирпичей). Кассеты с ним закладывают в ловушку в момент ее установки и не требуют замены в течение всего шестидесятилетнего срока эксплуатации АЭС.

В 1998 г. российская система «пассивной» безопасности прошла экспертизу в Международном агентстве по атомной энергии — МАГАТЭ (Вена, Австрия), а в 2001 г. была рекомендована для поставки в Китай. Через год ее уже установили на Тяньваньской АЭС. Она состояла из 12 модульных теплообменников, по форме напоминающих сапог. Разделение на модули, по признанию специали-





**Ловушку расплава  
транспортируют  
на строительную площадку  
Нововоронежской АЭС. 2010 г.**

тов, было единственным способом вписаться в график строительства станции, уже оговоренный с китайцами. Сегодня эффективные системы защиты смонтированы также на АЭС «Куданкулам» (Индия) и новых энергоблоках Ленинградской и Нововоронежской атомных станций.

Заметим, устройства локализации расплава для наших АЭС имеют ряд новаций. В отличие от китайской модульной ловушки их конструкция выполнена в виде цельного корпуса, внешне напоминающего реактор, что улучшает прочностные характеристики изделия. Есть различия и в системе защиты от перегрева. Теперь такое оборудование имеет двойной корпус: толщина первой стенки 60, второй — 30 мм. Пространство между ними заполнено теми же гранулами оксидов алюминия и железа. В случае локальных проплавлений внутренней стенки конструкции они взаимодействуют с топливной массой и создают дополнительный защитный барьер, предотвращающий разрушение наружной оболочки.

Подчеркнем, путь ловушки от завода-изготовителя до места назначения — технологически сложная операция. Цельный корпус весом 150 т, конечно, удобнее транспортировать по воде, баржей. Для его выгрузки разработана специальная схема: в подошедшее к берегу судно закладывают балласт, после чего оно садится на мель, затем у баржи срезают передний борт для заезда внутрь мощного автомобиля, забирающего ловушку. Иногда, чтобы довезти габаритный объект до места установки, необходимо усовершенствовать инфраструктуру: построить

новые мосты, дороги. Так было, например, с доставкой в 2009 г. устройства локализации расплава для Ленинградской АЭС, где пришлось возвести новый пролет моста и проложить 3 км дороги.

Бытует мнение, что наши проекты слишком «наворочены» с точки зрения систем безопасности. Дескать, это неэкономично. Но авария на АЭС «Фукусима» показала: они-то и наиболее конкурентоспособны. На российские ловушки уже есть заказы из Беларуси, Бангладеша, Вьетнама, Индии и Турции. К слову, конструкторы постоянно оптимизируют свое изобретение. Так, в результате сокращения количества жертвенного материала удалось снизить цену изделия. Сейчас оно обходится покупателю в 250–300 млн руб. — это менее 0,5 % в общей стоимости современного блока. Ее производство уже освоили 7 отечественных машиностроительных заводов, что позволит обеспечивать специальной защитой практически все проекты по строительству АЭС внутри страны, а также предлагать подобные системы зарубежным партнерам.

*Иллюстрации с сайта ОАО «Росатомэнергопроект»  
и Научно-производственной фирмы «ТермИКС»*

# «СУХОЕ» ХРАНЕНИЕ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Марина МАЛЫГИНА, журналист

**В начале 2012 г. на Горно-химическом комбинате (г. Железнодорожный Красноярского края) сдали в эксплуатацию «сухое» (воздухоохлаждаемое) хранилище отработанного ядерного топлива — мощный производственный объект атомной отрасли, рассчитанный на 38 тыс. т радиационных «отходов» Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС, а также болгарских и украинских станций, построенных по нашим проектам. Их будут закладывать в особые герметичные пеналы из нержавеющей стали, что обеспечит полную автономность и безопасность хранения на срок свыше 50 лет.**

Сегодня в России работают 32 энергоблока общей мощностью 24,2 ГВт. Они производят ~16% электроэнергии страны. Атомные «силы» предполагается наращивать и дальше. Согласно Федеральной целевой программе развития энергопромышленного комплекса к 2025 г. у нас построят 26 новых установок, что увеличит долю вырабатываемой на АЭС энергии до 25%. А это значит, что постоянно будет расти количество отработанного ядерного топ-

лива (ОЯТ, как принято называть в кругах специалистов). И большинство государств с развитой инфраструктурой в этой области, причем Россия здесь не исключение, приняли решение о продлении срока его хранения после завершения «службы» в реакторе.

На первом этапе такое топливо содержат в водной среде в приреакторных бассейнах, обеспечивая тем самым снижение остаточного тепловыделения (до 2–10 кВт) и распад наиболее активных короткоживу-



**Здание управления Горно-химического комбината в г. Железногорске (Красноярский край).**

щих йода-131, ксенона-133 и других радионуклидов. По истечении срока выдержки (обычно он составляет 1–3 года) его транспортируют на завод для радиохимической переработки. В нашей стране конечные операции по обращению с топливом, выгруженным с реакторов типа ВВЭР (водо-водяной энергетический) и РБМК (реактор большой мощности канальный) в основном сосредоточены на Горно-химическом комбинате в Железногорске.

У данного предприятия богатая история. Строить его начали в 1950 г. на правом берегу Енисея (в 50 км от Красноярска). Причем возводили на глубине 200 м под землей в скальных породах для защиты от возможного удара с воздуха (объем его подземных помещений составляет ~7 млн м<sup>3</sup>): тогда из природного урана тут вырабатывали оружейный плутоний.

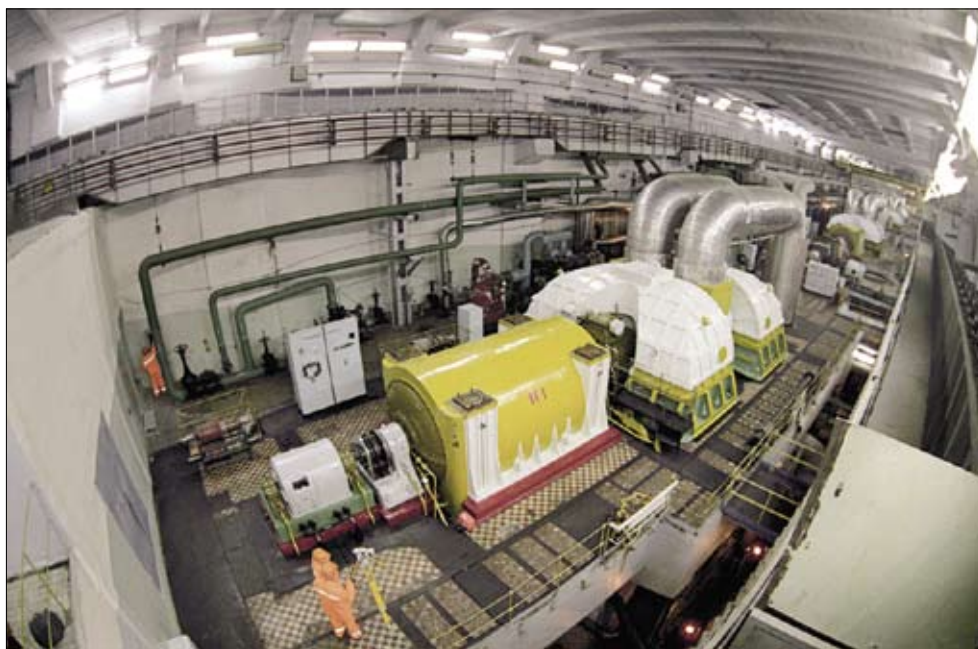
С 1958 по 1964 г. здесь смонтировали три установки: АД, АДЭ-1 и АДЭ-2. Первые две предназначались только для наработки плутония и были остановлены в рамках конверсионной программы в 1992 г., а последний двухцелевой промышленный уран-графитовый реактор кроме оборонных задач выполнял и хозяйственные: производил тепло и электроэнергию для Железногорска. Введенный в 1964 г. в эксплуатацию вместе с технологическим комплексом подзем-

ной АТЭЦ, он стал третьей атомной электростанцией, построенной в СССР, но в 2010 г. АДЭ-2 завершил свою деятельность.

По мере сокращения ядерных арсеналов в нашей стране (с 1980-х годов) производственная деятельность этого комбината все больше ориентировалась на конверсионные направления, в частности, прием отработанного топлива в «мокрое» (водное) хранилище емкостью 6 тыс. т, вошедшее в строй в 1985 г., с возможностью его дальнейшего использования на заводе РТ-2. Предприятие даже начали строить, однако проведенные атомным ведомством дополнительные расчеты показали: переработка ОЯТ экономически нецелесообразна, по крайней мере на сегодняшнем этапе развития ядерной энергетики, так как требует значительных капиталовложений в производственные мощности в начале и последующих затрат на захоронение продуктов переработки в объемах, превышающих исходные. Поэтому вопрос о дальнейшей «судьбе» ОЯТ решен у нас, как и в большинстве стран мира, в пользу длительного хранения. На месте завода РТ-2 в 2003 г. начали проектировать «сухое» хранилище, с технической и экономической точек зрения выгодно отличающееся от существовавших технологий бассейнового типа.



**Блок управления  
подземной атомной станции  
Горно-химического комбината.**  
Фото А. Соломонова



**Турбинный зал подземной  
атомной электростанции.**  
Фото А. Соломонова

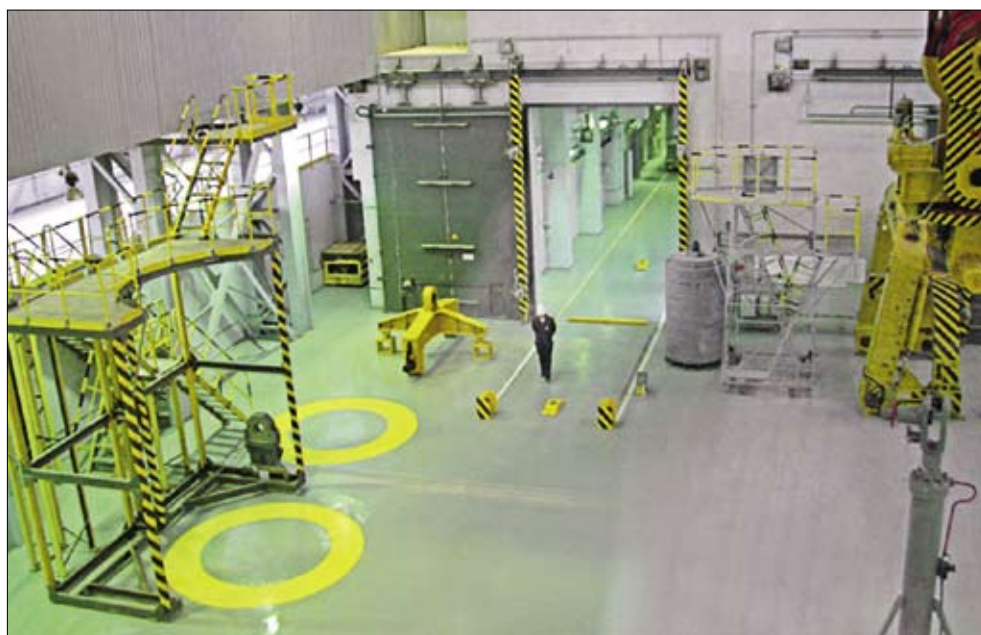
Объект продвигался сложно. Основные строительные работы развернулись только в 2006 г., а через 2 года, по сути, были приостановлены, пока «Росатом» не сменил генерального подрядчика. Им стала частная инжиниринговая компания «Группа Е4» (Москва), получившая контракт в результате квалификационного отбора. По словам председателя совета директоров компании Михаила Абызова, проект передали, когда его реализация запаздывала практически на год. Тем не менее отставание от графика удалось ликвидировать и возвести сложнейший технический комплекс в заданные сроки. 19 декабря 2011 г. генеральный директор «Росатома» Сергей Кириен-

ко подписал акт о его готовности, а в январе 2012-го здесь торжественно разрезали ленточку как свидетельство сдачи первой очереди уникального «сухого» хранилища отработанного ядерного топлива в эксплуатацию.

Признаться, этого события ждали, как манны небесной: пристанционные «мокрые» хранилища Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС уже были близки к предельному заполнению. И если бы запуск железнодорожного комплекса затянулся, их работа, предположительно, остановилась бы уже в ближайшие полгода. Но теперь база для дальнейшего активного развития нашей атомной отрасли обеспечена.



**«Сухое» хранилище  
отработанного  
ядерного топлива  
в г. Железногорске.**



**Цех «сухого» хранилища,  
куда прибывают составы  
с ядерным топливом.**

«Комплекс «сухого» хранилища ядерного топлива действительно уникален, у него нет аналогов в мире. Благодаря применению современных систем контроля радиационной безопасности новое хранилище позволит надежно сберегать ядерное топливо на протяжении более 50 лет», — заявил побывавший здесь Кириенко. А возведение объекта «Группой Е4», далее отметил он, стало ярким примером государственно-частного партнерства, свидетельствующим о том, что частные компании обладают необходимыми компетенцией, квалификацией и опытом, готовы и могут реализовывать самые сложные проекты ядерно-энергетического назначения.

Комплекс длиной 270, шириной ~35 и высотой ~40 м, состоящий из двух отделений — хранения и упаковки

в пеналы, сможет вместить 38000 т отработанного топлива РБМК и ВВЭР — основных типов реакторов, использующихся сегодня на отечественных АЭС. Остов здания укреплен армированным железобетонным объемом 85 тыс. м<sup>3</sup>, что сохраняет устойчивость объекта к внешним воздействиям (падению самолета, воздушной ударной волне, землетрясению, урагану, смерчу) как минимум в течение 100 лет.

«Сухое» хранилище камерного типа рассчитано на прием топлива с глубиной выгорания до 50 ГВт • сут/тU. Оно поступает туда после выдержки в воде в «чехах», затем их помещают в металлические пеналы, каждый из которых рассчитан на три сборки ВВЭР (или 30 ампул с пучками тепловыделяющих элементов — твэлов РБМК). Последние герметизируют сваркой и



**Камера перегрузки — «сердце» хранилища  
отработанного ядерного топлива.**

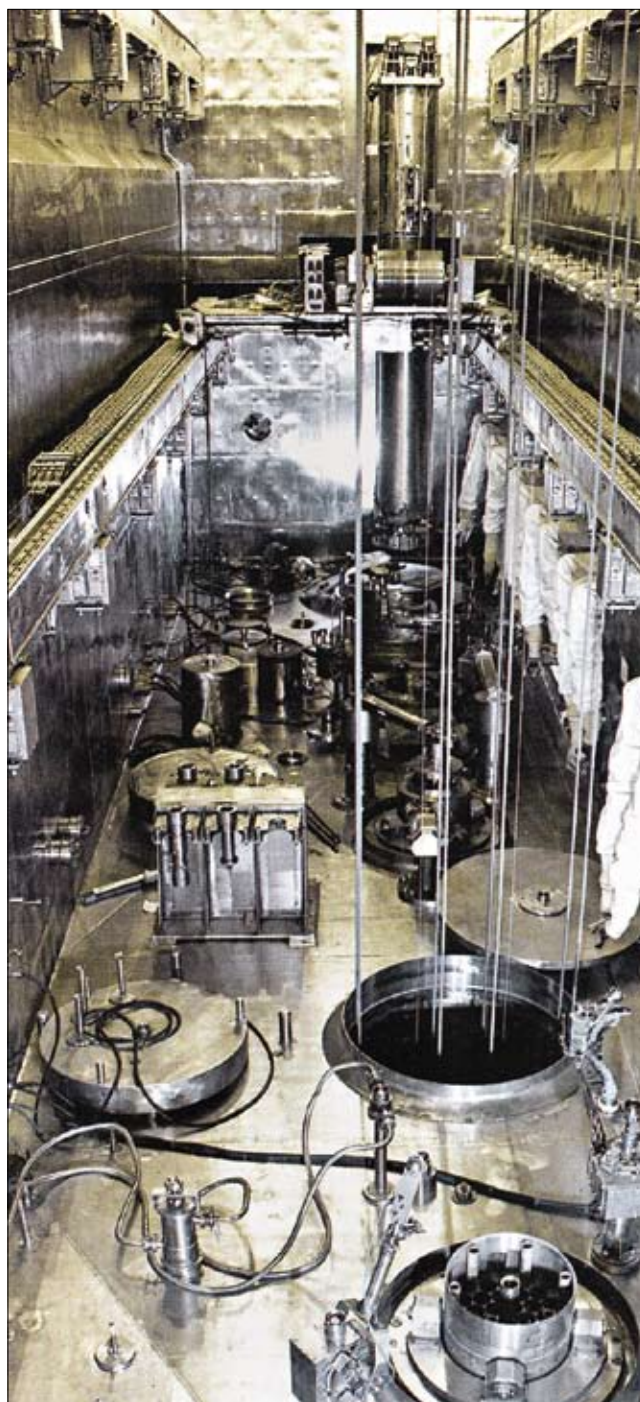
после вакуумной сушки находящихся внутри топливных сборок заполняют гелием. Заметим, именно благодаря такой эксклюзивной технологии, применяемой только здесь, исключено попадание радиоактивных веществ в окружающую среду. Далее специалисты контролируют герметичность сварного шва и перегрузочной машиной транспортируют пенал к гнезду хранения (металлической трубе, закрепленной на перекрытии камер). Там можно установить два таких устройства — одно над другим, после чего гнездо закрывают защитной пробкой и заваривают.

Отвод тепла, обеспечивающий безопасный температурный режим хранения, происходит за счет конвекции атмосферного воздуха. Это максимально снижает эксплуатационные затраты по сравнению с традиционными хранилищами бассейнового типа. Геометрия размещения топлива гарантирует подкритичность системы (возникновение цепной реакции деления невозможно) в условиях нормальной эксплуатации и даже в случае аварийных ситуаций. Выброс радиоактивных веществ, согласно расчетам, будет составлять десятые доли допустимых величин.

«Сухое» хранилище, как полагают специалисты, должно заполниться за 8–10 лет, но при постоянном совершенствовании технологии емкости топлива его возможности могут быть исчерпаны и за 5 лет. Вот почему на комбинате думают о строительстве следующей очереди комплекса. При этом не забыта и идея сооружения в Железногорске перерабатывающего завода РТ-2. В 2015–2017 гг. здесь планируют ввести в эксплуатацию Опытно-демонстрационный центр производительностью 250 т в год по рециклингу (повторному использованию) ядерного топлива — своего рода базу для создания полномасштабного завода по обращению с ОЯТ.

Все бы хорошо, если бы не утихающие споры вокруг транспортировки отходов с АЭС на Горно-химический комбинат. Согласно программе «Росатома», рассчитанной до 2025 г., в Красноярский край для захоронения уже в ближайшее время ежемесячно будут прибывать по три эшелона с радиоактивным грузом. Экологи утверждают: при аварии на железной дороге ситуация может развиваться по «чернобыльскому сценарию». Иными словами, техногенную катастрофу с выходом радиоактивности, подобную той, что произошла в 1986 г. на Чернобыльской АЭС (Украина), исключить нельзя.

Генеральный директор Горно-химического комбината доктор технических наук Петр Гаврилов, организовавший в январе 2012 г. пресс-тур для журналистов, развеял эти домыслы. Все 66 лет существования атомной отрасли в России, сказал он, транспортировкой топлива занимаются специализированные организации, обеспечивающие беспрецедентный уровень безопасности на всем маршруте следования груза. ОЯТ перевозят в транспортных упаковочных комплексах — так называемых ТУКах — специаль-



ными литерными составами, идущими без задержек на промежуточных станциях. «ТУК проходит бросковые и другие испытания, — подчеркнул Гаврилов, — при которых исключается разгерметизация. Это броски на твердую поверхность с 9-метровой высоты на специальный штывер метровой высоты, горение в течение 30 мин в открытом пламени при температуре 800°C, пребывание контейнера на глубине 200 м под водой в течение 2 ч».





**В гигантском зале хранения  
2420 гнезд для размещения  
радиоактивных отходов.**

В московском Институте проблем безопасного развития атомной энергетики РАН разделяют точку зрения красноярского специалиста. «Безопасное обращение с ОЯТ, — заявил «Газете.Ру» (19 марта 2012 г.) заместитель директора этого института, доктор физико-математических наук Рафаэль Арутюнян, — задача решенная, ни разу не породившая каких-либо проблем для окружающей среды и экологии... При перегрузках, хранении и переработке ОЯТ никаких тяжелых последствий для человека и экологии не было и быть не может. Перевозимое топливо обладает малым тепловыделением, транспортируется в сверхпрочных контейнерах, и инциденты с ним не могут приводить к серьезным авариям или катастрофе».

5 апреля 2012 г. в г. Железногорск пришел первый эшелон с двумя транспортными контейнерами. В них находилось отработанное топливо Ленинградской АЭС весом ~16 т (по диоксиду урана). Тщательный дозиметрический контроль, проведенный в присутствии представителей Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору работниками Горно-химического комбината показал: радиационный фон более чем в 80 раз ниже установленной нормы и почти в 2 раза меньше такового в самолете на крейсерской высоте. Это значит, что транспортные упаковочные контейнеры полностью выполняют свою функцию по обеспечению радиационной безопасности, причем с заметным запасом.

«С этого момента предприятие ведет отсчет новой истории, — сказал на церемонии встречи первого вагона Петр Гаврилов. — Два года назад, в апреле 2010 г., на Горно-химическом комбинате был остановлен последний промышленный уран-графитовый реактор АДЭ-2. А сегодня здесь началась промыш-

ленная эксплуатация нового мощного производственного объекта атомной отрасли». После того как первый вагон зашел в отделение приема и встал на разгрузку, раскрылись защитные створки железнодорожного транспортера и сменный персонал приступил к исполнению технологических операций. «Сухое» хранилище Горно-химического комбината вступило в строй действующих предприятий ядерно-энергетического комплекса страны.

Уникальность примененных в Железногорске инженерных и технологических решений (методы «сухого» хранения, обеспечивающие долговременную безопасную выдержку, поддержание на оболочках твэлов температуры не выше 300–350°C при хранении в инертном газе, пассивный способ отвода тепла, возможность удобной и быстрой идентификации источника радиоактивного загрязнения) выводит нашу страну в число лидеров в области обращения с ОЯТ. Не случайно российским опытом заинтересовались за рубежом. Комплексы, аналогичные железнгорскому, планируют построить в Испании и других странах Европейского Союза. Да и американские представители приезжали сюда поучиться. Еще в январе 2012 г. в Министерство энергетики США поступили рекомендации по созданию такого же централизованного «сухого» хранилища вместо глубокого геологического захоронения радиоактивных отходов в соляных шахтах Юкка-Маунтин (штат Невада).

*Иллюстрации из красноярского  
общественно-делового издания Дела.ru  
и других интернет-источников*

# ЭКОСИСТЕМЫ РОССИИ И ГЛОБАЛЬНЫЙ БЮДЖЕТ УГЛЕРОДА

---

Доктор биологических наук Ирина КУРГАНОВА,  
член-корреспондент Валерий КУДЕЯРОВ,  
Институт физико-химических и биологических  
проблем почвоведения РАН  
(Пушино, Московская область)

---

**По мнению большинства экспертов,  
потепление климата Земли во второй половине XX в.  
вызвано увеличением концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере.  
Между тем оценки глобального баланса углерода  
однозначно свидетельствуют:  
наземные экосистемы на время «обездвиживают»  
этот химический элемент,  
улавливая 2,1–2,5 Гт углекислого газа в год.  
Причем обширные российские леса, луга и болота лидируют  
в этом процессе. Тем самым наша страна  
с территорией свыше 1/9 земной поверхности  
обеспечивает не менее 1/5 всеобщего «бюджета» основного  
«элемента жизни», играющего особую роль в ряду  
планетарных биогеохимических циклов.**



**Наземные экосистемы России обеспечивают около 1/3 глобального стока углерода.**

Фото Е. Сидоровой

Другая немаловажная особенность глобального углеродного цикла, особенно ярко проявляющаяся в современную эпоху, — динамичность, обусловленная его высокой чувствительностью к растущему антропогенному прессингу и выражающаяся в изменении концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. За последние два столетия этот показатель неуклонно растет по сравнению с доиндустриальной эпохой и, по экспертным оценкам, является причиной парникового эффекта и потепления климата на планете. Данная проблема относится к наиболее серьезным вызовам XXI в. и активно обсуждается в научных, общественных и политических кругах.

### ПУТЬ УГЛЕРОДА В БИОСФЕРЕ

Итак, углеродный обмен между наземными экосистемами и атмосферой — один из ключевых природных процессов и согласно условиям Рамочной конвенции ООН по климату (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) и дополнившего ее Киотского протокола (Киото, 1997 г.), пост-киотских климатических соглашений ученые должны оценивать его интенсивность в количественных показателях. Рассмотрим же совокупность продукционных\* и деструкционных процессов, протекающих на суше и ответственных за круговорот органического углерода ( $\text{C}_{\text{орг}}$ ).

В процессе фотосинтеза и дыхания растений масса их нарастает, и в итоге за определенный отрезок времени образуется так называемая чистая первичная продукция. Эта величина входит в формулу глобального баланса углерода. Далее. Функция наземных экосистем как источника или «копилки» (специалисты употребляют международный термин «сток»)  $\text{CO}_2$  в большинстве случаев определяется дисбалансом между чистой продукцией и количеством двуокиси углерода, выделяющейся при микробном разложении органического вещества почв и растительного опада\*\*. Для характеристики этой функции введен специальный показатель «величина чистой продукции экосистем». Третий важный компонент при расчетах баланса углерода планеты и ее отдельных регионов — антропогенная (непочвенная) эмиссия  $\text{CO}_2$ : ведь при сжигании топлива, отходов аграрной и лесной отрасли, торфа, во время лесных пожаров в атмосферу попадает углекислый газ. Наконец, та часть  $\text{C}_{\text{орг}}$ , которая временно выводится из биогеохимического цикла и хранится в древесных частях растений (100–200 лет), в гумусе (до 1000 лет) и торфе (до нескольких тысяч лет), представляет собой чистую биомную продукцию экосистемы.

Ежегодно в рамках Глобального углеродного проекта, объединяющего исследования ученых большинс-

**К**руговорот органического углерода изменяет поверхностные оболочки Земли и на протяжении эволюции планеты обеспечивает стабильность ее углерод-кислородной системы. В результате сложных процессов «элемент жизни» переходит из одних «резервуаров» в другие: больше всего его в литосфере и Мировом океане — соответственно  $12 \cdot 10^6$  и  $37\text{--}39 \cdot 10^3$  Гг С (1 Гг =  $10^{15}$  г), довольно серьезные запасы сосредоточены и в органическом веществе почвенного покрова, включая торфяные залежи, и в растительной биомассе суши — 1500–1700 и 500–600 Гг С соответственно. Последние цифры куда скромнее, однако именно наземные экосистемы оказывают решающее влияние на природные потоки углекислого газа и его концентрацию в атмосфере.

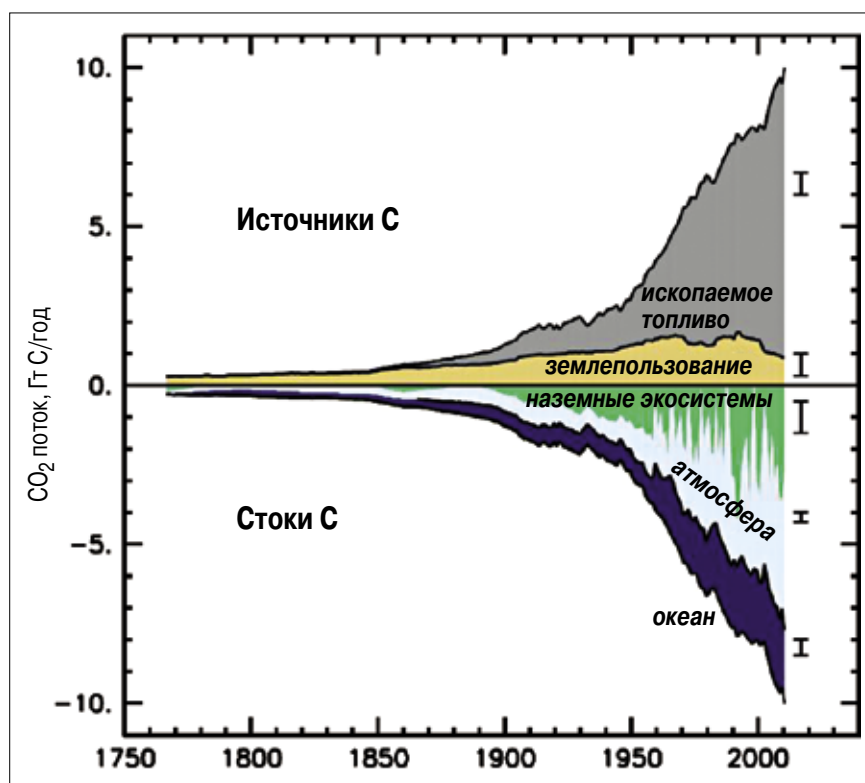
Одна из особенностей биогеохимического цикла углерода — его незамкнутость. Так, из глобального круговорота данного элемента выбывает  $\text{CO}_2$ , попадающий в разные «ловушки», — на современном этапе эволюции биосферы эту роль играют торфообразование и закрепление С в стабильных фракциях органического вещества почвы. Он хранится сотни и тысячи лет в составе гумуса, а при микробиологическом разложении последнего вновь выделяющаяся двуокись углерода «консервируется» в виде минеральных карбонатов в глубоких слоях почвы.

\*Продукционный процесс — совокупность процессов созидания и трансформации живого вещества, ассимиляции и потока энергии через трофические (пищевые) уровни экосистемы (прим. ред.).

\*\*Растительный опад — опавшие листья, хвоя, ветви, сучья, кора, плоды и другие части растений, участвующие в формировании лесной подстилки и почвы (прим. ред.).



Динамика основных статей  
глобального углеродного баланса  
(Global Carbon Project, 2011).



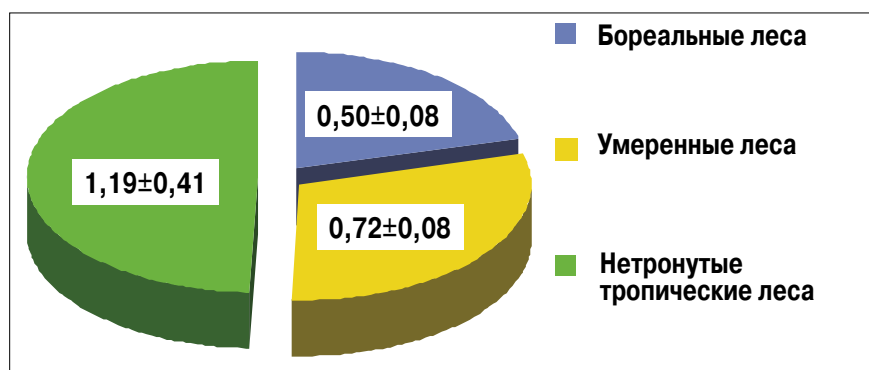
тва европейских и североамериканских стран, специалисты оценивают общепланетарный баланс С. Их подход основан на определении разности количеств  $\text{CO}_2$ , выделившегося в атмосферу при утилизации топлива и сведении тропических лесов и  $\text{CO}_2$ , поглощенного в системе атмосфера–океан. Выше мы упомянули термин «сток углерода», под которым традиционно понимают изъятие углекислого газа из газовой оболочки Земли и его временное закрепление в различных резервуарах — не только в океанах, но и в почве, а также в растительной биомассе. Так вот, динамика перечисленных процессов за последние 250 лет довольно сложна: параллельно экспоненциальному (со скоростью геометрической прогрессии) росту выбросов диоксида углерода в результате сжигания нефти и газа происходило столь же быстрое увеличение запаса (пула) атмосферного  $\text{CO}_2$ , тогда как эмиссия последнего, обусловленная изменениями в землепользовании, и сток углерода в океан в первые два столетия повышались довольно плавно, а после 1970–1980 гг. начались колебания этих величин.

По экспертным оценкам зарубежных ученых, средняя эмиссия  $\text{CO}_2$  в 2000–2010 гг. составляет соответственно  $7,9 \pm 0,5$  и  $1,0 \pm 0,7$  Гт С/год (здесь и ниже приведены размеры стандартных отклонений от средней величины). Изменение пула атмосферного  $\text{CO}_2$  за тот же период —  $4,1 \pm 0,2$  Гт С/год, средний сток углерода в океан, рассчитанный на основе результатов моделирования, равен  $2,3 \pm 0,5$  Гт С/год. А поглощение данного элемента наземными экосистемами в 2000–2010 гг. достигло  $2,5 \pm 1,0$  Гт С/год.

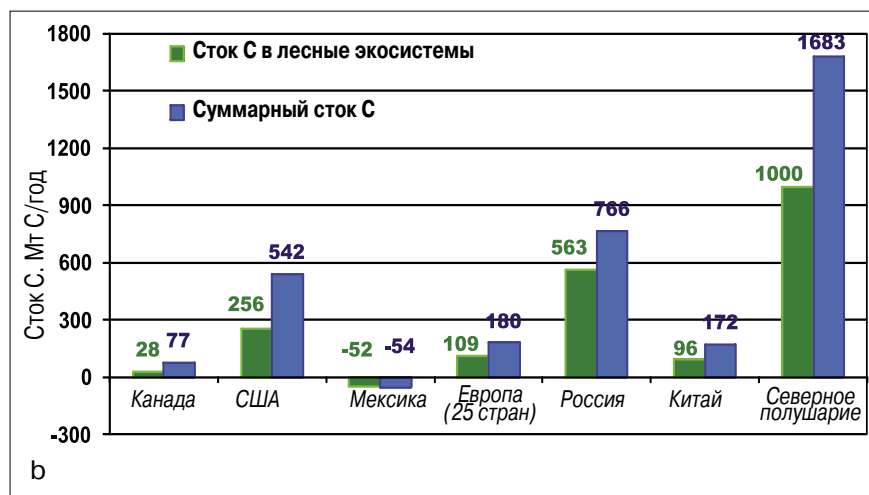
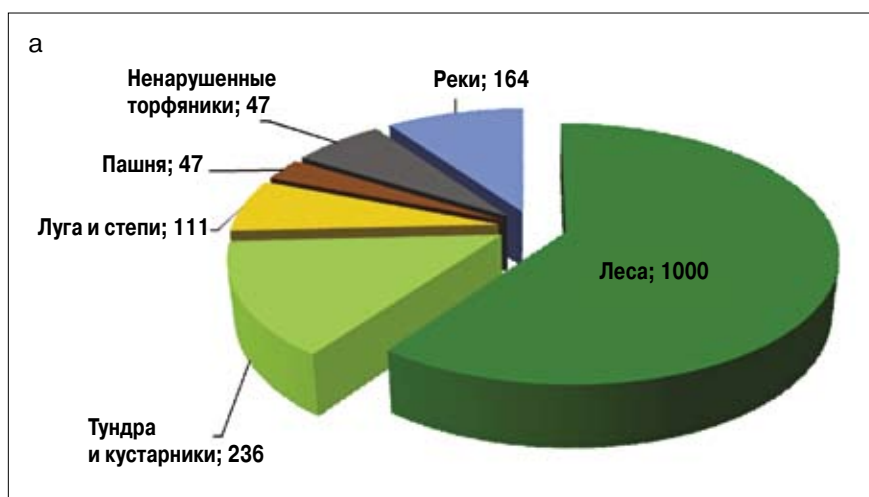
Японский исследователь Акихико Ито предложил способ оценки глобального баланса углерода, базирующийся на данных моделирования атмосферно-биосферного обмена в наземных экосистемах, и в 2003 г. опубликовал полученные результаты в журнале «Tellus В». В своих расчетах он опирался на климатические показатели, изменения концентрации атмосферного  $\text{CO}_2$  и соотношений стабильных изотопов углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) в почве и растительности на протяжении 1953–1999 гг. Разработанная им модель Sim-CYCLE позволяет оценить баланс С на основе параметров двух основных разнонаправленных потоков  $\text{CO}_2$ : обусловленного ассимиляцией «элемента жизни» растениями в ходе фотосинтеза и связанного с микробным разложением органических материалов. Разность величин, получающихся в первом и втором процессах, равна чистой продукции экосистем планеты и характеризует глобальный углеродный баланс. Для периода 1990–1999 гг. она составила 2, 1 Гт С/год, что свидетельствует о роли наземных экосистем как безусловного стока углерода.

#### «ЛЕГКИЕ ПЛАНЕТЫ»

Два описанных подхода к расчету баланса углерода планеты по сути принципиально различны, однако дают близкие по величине оценки стока  $\text{CO}_2$  в наземные экосистемы — 2,1–2,5 Гт С/год, что, очевидно, подтверждает правдоподобность современных представлений экспертов о масштабе данного процесса. Безусловно, в построениях ученых присутствуют ошибки статистического анализа и моделирования. Однако обратившись к имеющимся данным, выдаю-



Распределение общего стока углерода (Гт С/год) в лесных экосистемах мира в 1990-2007 гг. (представлено по Pan et al., 2011).



Распределение стока углерода (Мт С/год) в Северном полушарии в 2000-2004 гг. по типам экосистем (а) и по основным промышленно развитым странам (b) (представлено по Ciais et al., 2010).

щий отечественный почвовед и геохимик, заслуженный профессор МГУ им. М.В. Ломоносова, доктор географических наук Мария Глазовская\* в монографии «Педолитогенез и континентальные циклы

\*Мария Альфредовна Глазовская — почетный член Русского географического общества и Докучаевского общества почвоведов, автор более 500 публикаций, посвященных географии почв и геохимии ландшафтов. В 2011 г. издан Национальный атлас почв России, в составлении которого она принимала активное участие. В 2012 г. научная общественность мира отметила ее 100-летие (прим. авт.).

углерода» (2009 г.) пришла к интересному выводу: не исключено «наличие на суше не учитываемых факторов и механизмов консервации части избыточного ежегодно поступающего в атмосферу  $\text{CO}_2$ ». И действительно, до сих пор причины накопления углерода на Земле не вполне понятны специалистам, его природа не имеет однозначного объяснения. Именно поэтому в англоязычной литературе появился термин «missing sink», или «неучтенный сток».



**В почвах и торфах России  
сосредоточена 1/5 часть  
мировых запасов углерода  
почвенного покрова Земли.**  
Фото С. Смирнова

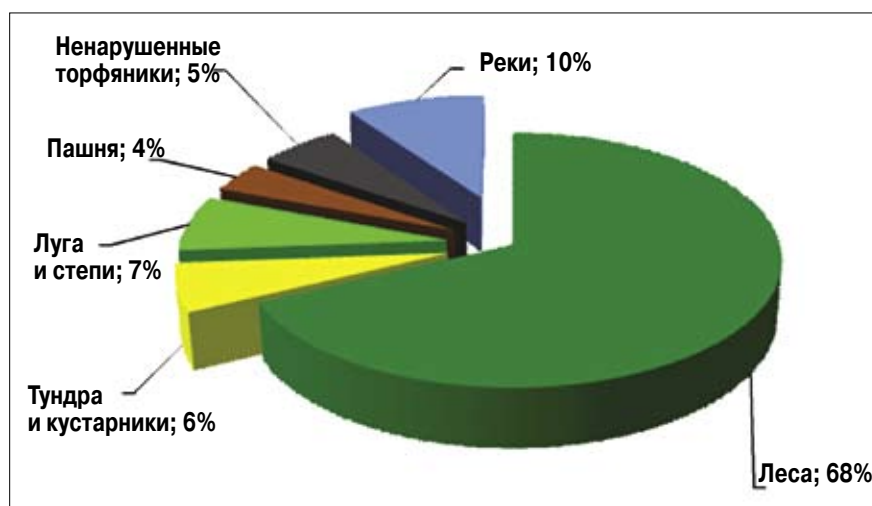
С нашей точки зрения, наиболее вероятен комплексный механизм накопления углерода, сочетающий отрицательную обратную связь с глобальным потеплением (что выражается в усилении связывания  $\text{CO}_2$  растительностью за счет увеличения количества доступного им азота), чистое накопление  $\text{C}_{\text{орг}}$  почвами и возможность стока части углерода в глубокие слои педосферы (почвенной оболочки земного шара).

Как же распределяется на нашей планете так называемый «неучтенный сток» углерода? Согласно расчетам, опубликованным в 2011 г. в журнале «Science» доктором Юде Пан с коллегами из лесной службы Министерства сельского хозяйства США, практически весь этот запас может быть сосредоточен в лесных экосистемах. В 1990–2007 гг. суммарное депонирование здесь углерода составляло 2,30–2,50 Гт С/год, причем около половины (1,02–1,33 Гт С/год) приходилось на девственные тропические леса, а 1,17–

1,28 Гт С/год — на бореальные и умеренные, расположенные главным образом в Северном полушарии Земли. Именно этот регион, по мнению ряда ученых, следует признать «легкими планеты»: по модельным расчетам, выполненным международным коллективом авторов под руководством Кевина Роберта Гарнея из Колорадского государственного университета (США, 2003 г.) и Филиппа Чейса из Версальского университета (Франция, 2010 г.) накопление углерода тут составляет 1,66–1,73 Гт С/год.

Чейс изучил, как распределился глобальный сток углерода в 2000–2004 гг. по типам экосистем и показал: из суммарной величины, равной 1,66 Гт С/год, на долю лесов Северного полушария приходится приблизительно 60%, или 1,0 Гт С/год, что довольно хорошо согласуется с оценкой Юде Пан — 1,02–1,33 Гт С/год. Причем леса России обеспечивают 56,3% этого количества. Иными словами, роль отечественных назем-





**Распределение стока углерода (Мт С/год) на территории России в 2000–2004 гг. по типам экосистем (представлено по Ciais et al., 2010).**

ных экосистем в общепланетарном биогеохимическом цикле углерода значительна\*.

И в последние годы оценка углеродного баланса нашей страны все чаще привлекает внимание специалистов. Первые попытки были предприняты в начале 1990-х годов в рамках Специальной государственной программы под руководством академика Николая Лаверова, ее биологический блок возглавлял академик Георгий Заварзин. Выводы ученых об основных составляющих бюджета углерода в наземных экосистемах России опирались на базу данных по экспериментальному определению дыхания почв и сведения о чистой первичной продуктивности биотеннозов.

В конце 2010-х авторы настоящей статьи опубликовали в отечественных и международных изданиях результаты оригинальных изысканий и показали: величина общего почвенного потока  $\text{CO}_2$  на территории России очень близка к суммарной продуктивности наземных экосистем. Однако эти первые расчеты были не вполне корректны, поскольку был учтен общий поток углекислого газа из почв, тогда как следовало принять во внимание лишь ту его часть, которая «поставляется» микроорганизмами при разложении органических веществ. Кроме того, не была учтена антропогенная эмиссия углерода на территории РФ. В дальнейшем названные недостатки были устранены благодаря новым экспериментальным данным и, самое главное, за счет разработки и применения новых подходов, модельных построений и геоинформационных технологий.

Согласно современным представлениям (данные академика Адольфа Мокроносова (1999 г.), уточненные его учениками в 2005 г.), первичная продуктивность растительности на территории России составляет 4,34–4,73 Гт С/год, или 6,8–7,8% глобального фотосинтетического стока. Эти оценки основаны на применении так называемого хлорофильного индекса

(отношения среднего количества хлорофилла в расчете на единицу площади листовой поверхности) с учетом площадей, занимаемых тем или иным типом растительности. Вторую составляющую баланса  $\text{CO}_2$  на землях Российской Федерации — микробную компоненту общего дыхания почв — рассчитали в нашем институте и Международном институте прикладного системного анализа (IIASA, Австрия) в 2000 г. Этот параметр варьирует от 2,6 до 3,2 Гт С/год, что соответствует 4,2–5,2% всех поступлений углекислого газа при разложении органических веществ микроорганизмами. Отметим, соответствующие исследования в странах-участницах Киотского протокола начались лишь в 1990 г., и приведенные выше цифры получены посредством анализа литературных данных, большая часть которых относится к 1950–1990 гг., а используемые при вычислениях карты (почвенная, землепользования и растительности) датированы 1988–1990 гг. Третий компонент балансовых расчетов — антропогенная эмиссия  $\text{CO}_2$  на территории нашей страны в период 2002–2006 гг. — был оценен нами в 0,8 Гт С/год (здесь использованы данные официальной статистики).

Последующие оценки баланса углерода для территории России, выполненные в нашем институте, показали, что отечественные наземные экосистемы выступают безусловным накопителем атмосферного  $\text{CO}_2$  в размере 0,81–1,10 Гт С/год. Это согласуется с модельными построениями, проведенными в 2010 г. профессором Филиппом Чейсом: его цифра — 0,83 Гт С/год. Профессор Анатолий Швиденко с соавторами (IIASA, Австрия) для первой декады XXI в. (2000–2010 гг.) предложил свои расчеты, также свидетельствующие о преобладании стока углерода, равного 0,5–0,7 Гт С/год, над его потерями. В данном случае приуроченность вновь поступающего «элемента жизни» к определенным типам экосистем ученые представили с помощью математического моделирования и показали, что в 2000–2004 гг. в среднем около 70% С аккумулировалось в лесах, на остальные же биотопы (тундра+кустарники, степи+полупустыни, реки, ненарушенные торфяники) приходилось от 4 до 10%.

\*См.: А. Сирин, Л. Рысин, А. Гульбе. Как меняются наши леса. — Наука в России, 2012, № 4 (прим. ред.).

**Современные оценки основных составляющих биогеохимического цикла углерода в наземных экосистемах мира и России.**  
В скобках — доля территории РФ в глобальных потоках и резервуарах углерода на планете.

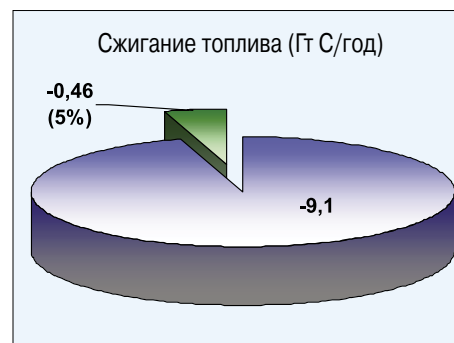
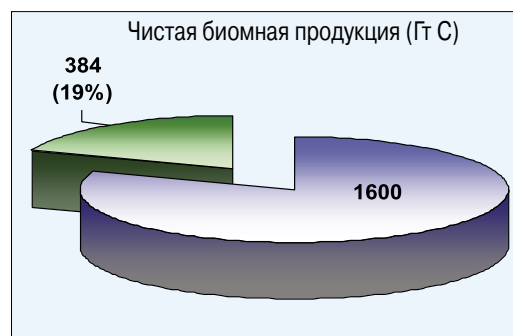
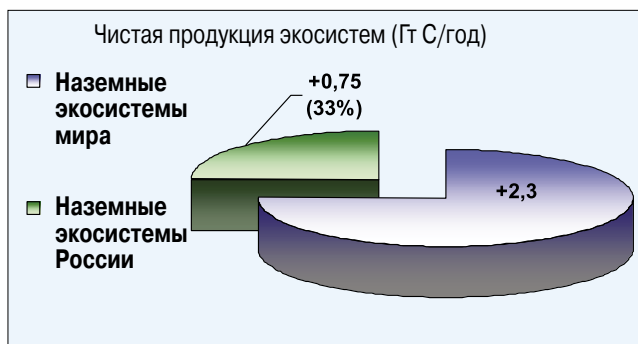
## РЕЗЕРВУАР ДЛЯ «НЕУЧТЕННОГО УГЛЕРОДА»

Приведенные выше расхождения в расчетах бюджета углерода на территории нашей страны объясняются различиями в оценке разными учеными микробной компоненты почвенного дыхания, масштабов выделения  $\text{CO}_2$  в аграрном секторе (прежде всего в животноводстве) и величин пожарной и послепожарной эмиссии  $\text{CO}_2$ . Кроме того, в большинстве случаев не учитывались изменения в системе отечественного землепользования в начале 1990-х годов: тогда было заброшено около 1/4 части всех пахотных угодий, что, согласно выводам ученых из Института географии РАН, эквивалентно 45,5 млн га и не могло не повлиять на соотношение «накопительной и расходной» статей углеродного баланса. Наши работы последних лет показали: быстрый переход возделываемых земель в залежные (т.е. естественные экосистемы), как это происходило в 1990–2005 гг., приводит к дополнительному стоку  $\text{CO}_2$  в размере  $0,11 \pm 0,03$  Гт С/год, способному компенсировать около 25% эмиссии углекислого газа от сжигаемого топлива в РФ.

Проведенный анализ позволяет заключить: современный баланс углерода на территории России можно оценить в диапазоне 0,5–1,0 Гт С/год, т.е. наша страна выступает абсолютным накопителем диоксида углерода атмосферы. И ее наземные экосистемы обеспечивают в настоящее время не менее 1/5 части глобального стока  $\text{CO}_2$  атмосферы (главным образом за счет лесных территорий и зарастающих сельскохозяйственных угодий).

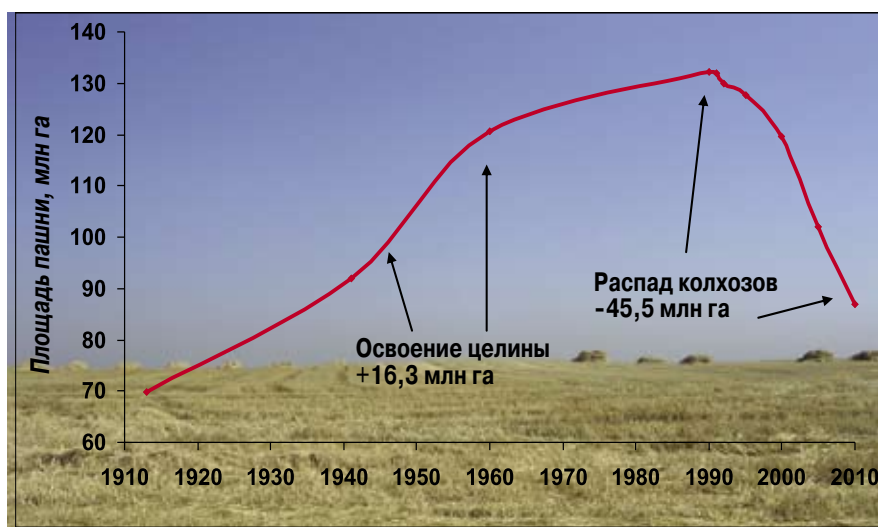
Значительна и роль отечественных наземных экосистем в формировании чистой биомной\* продукции, на время выводимой из биогеохимического цикла углерода и накапливающейся в почве в виде органических соединений. Этот важный для биосферы запас, или пул, углерода весьма чутко реагирует на любые виды антропогенного прессинга (сведение леса, распашка целинных земель, разработка торфяных залежей или, напротив, прекращение сельскохозяйственного использования почв) и природные катаклизмы (лесные и торфяные пожары, нашествие вредителей). По оценкам, выполненным на факультете почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова под руководством доктора биологических наук Дмитрия Орлова (1995 г.) и в Международном институте прикладного системного анализа под началом доктора биологических наук (ныне академика РАСХН) Вячеслава Рожкова (1996 г.), запасы почвенного углерода (включая торфяные залежи) в слое 0–100 см на территории РФ составляют 298–342 Гт, что соответствует 18–23% мировых запасов углерода в педосфере.

\*Биом — совокупность экосистем одной природно-климатической зоны (прим. ред.).



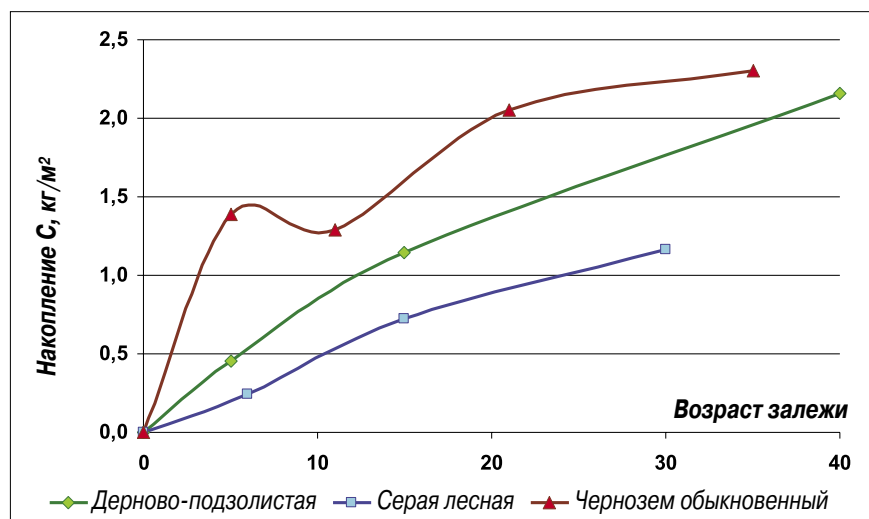
По мнению Марии Глазовской, емкость современных (и погребенных) почв как резервуара углерода специалистами существенно преуменьшена. Причина — недоучет процессов накопления ими «элемента жизни» в форме стабильных органических соединений, располагающихся в глубоких слоях профиля автоморфных\* почвенных типов, а также образования вторичных карбонатов в почвах субаридных и аридных регионов. На кафедре географии почв и геохимии ландшафтов географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова под руководством Глазовской провели анализы содержания углерода в нижних горизонтах почв атмосферного увлажнения умеренного пояса и показали: в слое 100–200 см содержится от 15 до 25% его общих запасов. Следовательно, пул «элемента жизни», сосредоточенный на территории нашей страны, выше, чем принято сейчас считать, в среднем на 64 Гт (до 384 Гт), а доля «отечественного» углерода в мировых запасах составляет до 25%.

\*Автоморфными называются почвы, водный режим которых формируется исключительно за счет атмосферного увлажнения (прим. ред.).



Динамика пахотных земель  
в России в 1913–2010 гг.

Изменение запасов углерода  
в пахотном слое различных типов почв  
в зависимости от возраста залежи.



Кроме того, исследования, проведенные в нашем институте, убедительно продемонстрировали: при выведении почв из сельскохозяйственного использования в 1990–2010 гг., как правило, происходило увеличение запасов С в их профиле, а дополнительное накопление его в результате изменения системы землепользования на площади 45,5 млн га, по-видимому, достигло 512 Мт. Определенная нами величина «секвестра» углерода, в среднем составляющая  $26 \pm 3$  Мт в год, весьма ощутима и потому учитывается в ежегодных Национальных сообщениях России Секретариату Рамочной конвенции ООН по климатическим изменениям.

Итак, наземные экосистемы России в среднем обеспечивают не менее 20% глобального накопления углерода в составе чистой продукции экосистем и в почвенном резервуаре. Но соотношение этих составляющих углеродного стока неодинаково в различных природно-климатических зонах страны, и их количественная оценка в текущем столетии должна оставаться в ряду приоритетных фундаментальных задач экологии и почвоведения.

Начавшаяся свыше 200 лет назад активная индустриализация во многих странах мира привела к нарушению глобального углеродного цикла на Земле, что выразилось в беспрецедентном увеличении концентрации углекислого газа в атмосфере. К счастью, природа в процессе эволюции заложила механизм защиты — постоянное активное накопление «элемента жизни» лесными и болотными экосистемами планеты. Человечество обязано усиленно охранять их, если мы хотим сберечь здоровье и благополучие будущим поколениям. Нельзя забывать, насколько хрупко равновесие углеродных потоков на нашей планете, как тесно оно связано с наблюдаемыми сегодня изменениями климата и сколь велика роль человечества в этих явлениях. Она не должна стать разрушительной!

*Приведенные в статье оригинальные данные получены при поддержке РФФИ, Программы Президиума РАН № 4 и НШ Президента РФ № 6620.2012.4.*

*Иллюстрации предоставлены авторами*



# ПЕРВООТКРЫВАТЕЛЬ КОСМИЧЕСКИХ ЛИВНЕЙ



**В ноябре 2012 г. исполняется 120 лет со дня рождения  
выдающегося отечественного физика,  
создателя крупной научной школы в области физики атомного ядра,  
элементарных частиц и космических лучей  
академика Дмитрия Владимировича Скобельцына (1892-1990).**

*Д. Скобельцын. Начало 1960-х годов. Фото с сайта НИИЯФ.*

После окончания в 1915 г. физико-математического факультета Петербургского (тогда Петроградского) университета Скобельцын был оставлен на кафедре физики для подготовки к профессорской деятельности. Совмещая научные интересы с преподаванием, он в 1925 г. начал исследования в Ленинградском физико-техническом институте (ныне Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН). Его первые эксперименты были посвящены эффекту Комптона.

В 1923 г. американский физик Артур Комптон (нобелевский лауреат 1927 г.) открыл эффект, названный его именем, и заложил основы теории рассеяния коротковолнового излучения на свободном электро-не. И для Скобельцына представляло большой интерес изучить процесс взаимодействия с электронами наиболее жесткого из известных тогда видов излучений —  $\gamma$ -лучей радиоактивных веществ. Он нашел удачный методический подход к решению этой задачи: использовал камеру Вильсона, поместив ее в постоянное магнитное поле для количественного анализа взаимодействия релятивистских частиц с веществом. Эти опыты привели ученого к однозначному выводу, что существует не только качественное, но и количественное согласие с теорией взаимодействия квантов излучения со свободными электронами, развитой Комптоном. Этим методом был открыт ряд элементарных частиц и изучены многие важнейшие процессы, происходящие при высоких энергиях.

В дальнейшем Дмитрий Владимирович применил явление Комптона для спектроскопии  $\gamma$ -лучей. Это послужило основой серии исследований спектров  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучей и сыграло большую роль в изысканиях, имеющих важное теоретическое и практическое значение.

Главные работы Скобельцына, явившиеся стержнем всей его научной деятельности, посвящены исследованиям космического излучения. Анализируя снимки, полученные им в камере Вильсона в серии опытов по изучению комптон-эффекта, он обратил внимание на следы частиц, не искривленные магнитным полем. Оказалось, что среди следов  $\beta$ -частиц и электронов, выбитых  $\gamma$ -лучами и сильно изогнутых магнитным полем, имеются совершенно прямые следы, принадлежащие частицам с энергией не менее 15 МэВ. Последнее обстоятельство показало: обнаруженные следы нельзя приписать излучениям радиоактивных веществ. Более того, средняя ионизация, создаваемая в атмосфере частицами, соответствовала ионизации воздуха космическими лучами. На этом основании Дмитрий Владимирович сделал важное заключение: прямые следы в камере Вильсона принадлежат заряженным частицам космических лучей. И хотя ученые обнаружили их еще в 1912 г., однако

вплоть до работ Скобельцына 1927 г. непосредственная причина ионизации не была ясна, ибо среди физиков интерес к этому объекту был невелик, его изучали в основном как геофизическое явление.

Открытие ученого явилось переломным моментом в развитии этого раздела физики. По существу настоящие исследования космических лучей и начались лишь после того, как он показал наличие в них заряженных частиц высокой энергии.

Следующим принципиально важным шагом было установление им того факта, что в области высоких энергий происходят явления, не имеющие известного аналога. Речь о том, что частицы космических лучей довольно часто проявляются группами, по современной терминологии, ливнями. Открыл их Скобельцын в 1929 г.

Во второй половине 1930-х годов центральными в физике космических лучей являлись две связанные между собой задачи: существование и свойства вновь открытых частиц — мезонов и каскадная теория электронно-фотонной компоненты. Дмитрий Владимирович внес существенный вклад в решение обоих вопросов.

Он руководил также исследованиями и в других разделах ядерной физики. Среди этих работ следует отметить всестороннее изучение процесса образования электронно-позитронных пар в газе, наполняющем камеру Вильсона, под действием  $\gamma$ -лучей. Было показано, что явление, наблюдающееся при взаимодействии фотонов с электрическим полем ядер атомов различных элементов, превосходно согласуется с экспериментом.

Под руководством Скобельцына получили широкое развитие исследования космического излучения на больших высотах. В результате удалось показать, что первичные космические лучи представляют собой электрически заряженные частицы. Используя магнитное поле Земли в качестве своеобразного измерительного прибора, стало возможным рассортировать это излучение по энергиям. Из проведенного анализа следовало: космические лучи быстро поглощаются в атмосфере. Последующие работы, выполненные Скобельцыным и его учениками, показали, что причина больших потерь энергии кроется во взаимодействии заряженных частиц с ядрами атомов атмосферы.

Во время Великой Отечественной войны ученый, находясь в эвакуации вместе с Физическим институтом АН СССР в г. Казани, руководил рядом работ оборонного и прикладного характера. Вместе с тем он продолжал теоретические изыскания по так называемым широким атмосферным ливням, открытым в 1938 г. французским физиком Пьером Оже. По инициативе и под руководством Скобельцына на Памире в 1944 г. начали детальное их изучение. В дальнейшем

эти экспедиции проводили ежегодно. А совокупность полученных данных привела Дмитрия Владимировича и его учеников к выводу: данные ливни представляют собой не чистые электронно-фотонные лавины, а являются продуктом сложного ядерно-каскадного процесса. На основе этого анализа была построена ядерно-каскадная схема образования ливней, получившая всеобщее признание и оказавшаяся в дальнейшем крайне плодотворной при постановке новых экспериментов.

Для получения данных о частицах сверхвысоких энергий ученый выдвинул идею о необходимости исследовать широкие атмосферные ливни одновременно на двух уровнях — на поверхности земли и под землей.

Наряду с изучением ядерных процессов при очень высоких энергиях продолжалось исследование космических лучей на больших высотах, причем был проанализирован их состав. Существенно, что эти работы выполнялись в стратосфере на различных широтах. А в 1947 г. под руководством академика (с 1946 г.) Скобельцына начались также первые опыты на ракетах по изучению космических лучей за пределами атмосферы.

Новое понимание общей картины явлений, происходящих в космических лучах, было изложено Скобельцыным в его речи на Общем собрании Академии наук СССР в феврале 1950 г. Тогда по сути физика космических лучей стала разделом ядерной физики в области высоких энергий. В 1951 г. академик Скобельцын и его ученики за открытие и изучение электронно-ядерных ливней и ядерно-каскадного процесса были удостоены Государственной премии СССР.

В последующих работах данную концепцию развивали и уточняли. В частности, большое внимание уделяли вопросу о распределении энергии первичной ядерно-активной частицы между образованными ею вторичными. В итоге была установлена большая упругость столкновений частиц высоких энергий с легкими ядрами. Оказалось, что в среднем нуклон при взаимодействии передает генерированным пи-мезонам только 30–40% своей энергии. Большая же ее часть сохраняется у него. Эта особенность играет важную роль в формировании общей картины поглощения в атмосфере энергии космических лучей.

Детальное изучение широких атмосферных ливней позволило ученым сделать ряд важных выводов. В частности, было показано, что при энергии  $10^{11}$ – $10^{12}$  эВ соударение двух нуклонов часто приводит к образованию густка возбужденной ядерной материи, движущегося со сравнительно небольшой скоростью и рассыпающегося на пи-мезоны. Все данные, полученные в этих исследованиях, прочно вошли в науку о косми-

ческих лучах и составляют основу физики процессов, происходящих при высоких и сверхвысоких энергиях частиц.

Академик Скобельцын основал и большую научную школу физиков — специалистов по атомному ядру, космическим лучам и ускорителям. Его педагогическая, организаторская деятельность также имела широкий размах. В 1940 г. он создал на физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова кафедру атомного ядра, а позже — Отделение ядерной физики, которым руководил много лет. В 1946 г. Скобельцын организовал Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ и в течение 15 лет был его директором. Под его руководством институт превратился в ведущий центр исследований по ядерной физике и физике высоких энергий.

С 1951 г. после смерти академика Сергея Вавилова Скобельцын стал директором Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. И за два десятилетия его руководства там произошли структурные изменения, в лабораториях появились и развились новые направления.

Широко известна общественная деятельность Скобельцына. В течение многих лет он возглавлял комитет по международным Ленинским премиям «За укрепление мира между народами». Вместе с тем он был одним из инициаторов и ведущих деятелей Пагуошского движения ученых за мир.

Заслуги Дмитрия Скобельцына перед нашей страной и наукой отмечены присвоением ему звания Героя Социалистического Труда, Ленинской и Государственной премиями СССР, шестью орденами Ленина, другими высокими наградами.

В целях поощрения ученых за выдающиеся труды и открытия в области физики элементарных частиц и космических лучей Российская академия наук в 2004 г. учредила золотую медаль имени Д.В. Скобельцына. Она присуждается раз в пять лет. Первым ее лауреатом в 2005 г. стал крупный специалист в области физики высоких энергий и элементарных частиц академик Георгий Зацепин.

О некоторых исследованиях, основы которых были в свое время заложены академиком Скобельцыным, рассказывается в двух статьях, публикуемых далее.

*По материалам сайта Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ*

*Подготовил Сергей МАКАРОВ*



# «СПОСОБНОСТИ» РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОНА

---

Доктор физико-математических наук Виталий МИХАЙЛИН,  
руководитель отдела физических проблем  
квантовой электроники Научно-исследовательского  
института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына,  
заведующий кафедрой оптики и спектроскопии  
физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

---

**Во всех областях науки, где изучается взаимодействие  
излучения с веществом, широкое применение  
в настоящее время находит синхротронное излучение.  
Данной тематикой интенсивно занимается  
коллектив отдела физических проблем квантовой электроники  
НИИЯФа им. Д.В. Скобельцына МГУ.  
А начались эти работы более полувека назад.**

## ГОЛУБОЙ СВЕТ

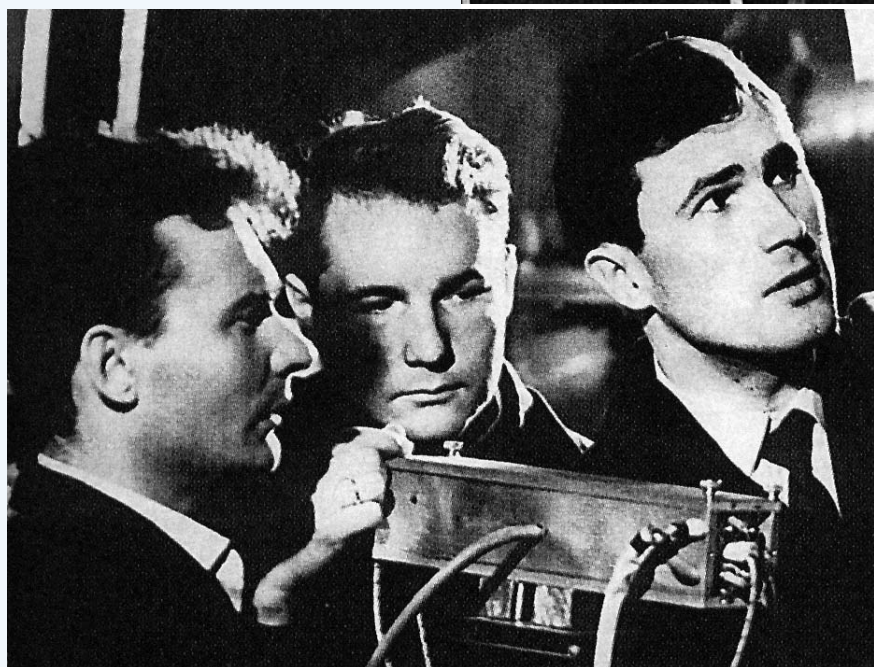
Открытие синхротронного излучения (СИ) предсказали весной 1944 г. доктора физико-математических наук Дмитрий Иваненко и Исаак Померанчук (академик с 1964 г.). Выступая на семинаре по теоретической физике в МГУ, где обсуждался вопрос о предельной энергии ускорения электронов в бетатро-

не (циклическом индукционном ускорителе\*), они высказали предположение, что причиной ограничения этого показателя является магнитотормозное

---

\*Циклический ускоритель — ускоритель заряженных частиц, в котором они движутся по орбитам, близким к круговым или спиральным, многократно проходя через одни и те же ускоряющие электроды (*прим. ред.*).

Профессора И. Тернов,  
Д. Иваненко, А. Соколов (1967 г.).



Научные сотрудники кафедры  
оптики и спектроскопии  
физического факультета МГУ  
О. Куликов, Е. Филиппов, А. Яров.  
Вторая половина 1960-х годов.

излучение, мощность которого пропорциональна четвертой степени энергии ускоренной частицы. И хотя не все присутствовавшие с таким объяснением согласились, авторы гипотезы все же отправили в печать статьи с изложением своих идей, в том же году опубликованные в журналах «Доклады АН СССР» и *Physical Review* (США).

А вскоре американский физик Джон Блюитт показал, что теоретическое предсказание Иваненко и Померанчука подтверждается: при достижении электроном максимальной энергии  $\sim 100$  МэВ наблюдается радиационное сокращение радиуса его орбиты, и частица падает на внутреннюю мишень. Попытки же Блюитта визуально зафиксировать это излучение, а также обнаружить его в микроволновом диапазоне оказались безуспешными. Но удача совершенно случайно улыбнулась его молодому коллеге, сотруднику

той же лаборатории инженеру Флойду Хаберу. В апреле 1947 г. при профилактике стеклянной камеры синхротрона\* на 80 МэВ он снял часть металлизированного покрытия, непрозрачного для света. Когда же ускоритель вновь включили, яркий голубой свет, испускаемый электронами, вырвался за пределы его камеры в лабораторию.

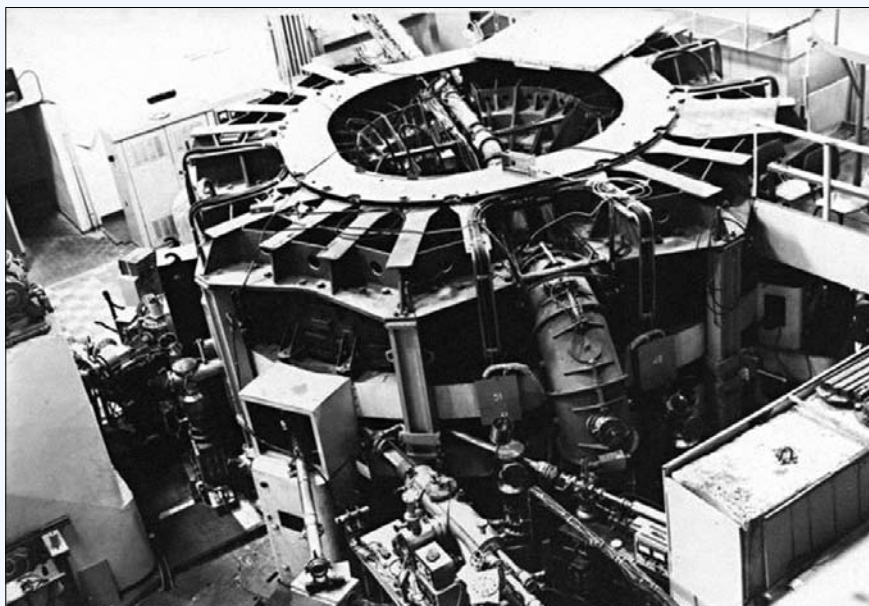
Так впервые наблюдалось излучение релятивистских (близких к скорости света) электронов, получившее название синхротронного. Годом позже Дмитрий Иваненко и доктор физико-математических наук Арсений Соколов (в то время декан физи-

\*Синхротрон — один из типов резонансных циклических ускорителей. Характеризуется тем, что в процессе ускорения частиц орбита пучка остается постоянного радиуса, а ведущее магнитное поле поворотных магнитов, определяющих этот процесс, возрастает. Кроме того остается постоянной частота ускоряющего электрического поля (прим. ред.).



Академик И. Померанчук.

**На синхротроне ФИАНа на 680 МэВ исследовались спектрально-угловые и поляризационные характеристики СИ; на нем построен первый в стране вакуумный ультрафиолетовый спектроскопический канал. Снимок 1970-х годов.**



ческого факультета МГУ) опубликовали в журнале «Доклады АН СССР» статью «К теории «светящегося» электрона», где привели расчеты соответствующих угловых и спектральных характеристик. Последующие работы наших теоретиков заложили основы школы физфака МГУ в этой области. В итоге в библиографическом списке работ физиков Московского университета по исследованию синхротронного излучения и его применениям на сегодня насчитывается более 1200 публикаций, десятки докторских и сотни кандидатских диссертаций.

А самые первые в нашей стране экспериментальные проверки «теории светящегося электрона» были проведены в 1956 г. Юрием Адо (позднее — доктором физико-математических наук) и доктором физико-математических наук Павлом Черновым (нобелевский лауреат 1958 г., академик с 1970 г.). Далее изучение свойств синхротронного излучения продолжили теоретики и экспериментаторы МГУ (доктор физико-математических наук Игорь Тернов, кандидаты физико-математических наук Олег Куликов, Алексей Яров и др.) совместно с лабораторией электронов высоких энергий ФИАНа им. П.Н. Лебедева (доктор физико-математических наук Михаил Якименко, кандидат физико-математических наук Юрий Александров и др.). Эти работы поддержал директор ФИАНа академик Дмитрий Скобельцын. Уже в 1967 г. при его поддержке здесь был построен

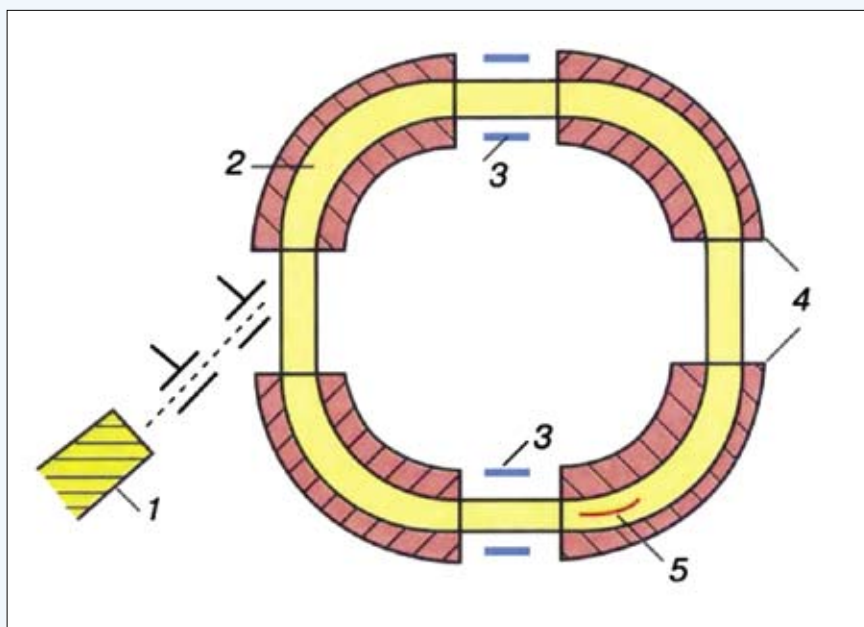
первый в стране спектроскопический канал на синхротроне на 680 МэВ.

Но вернемся в 1940-е годы. Еще в 1948 г. кандидат физико-математических наук Александр Прохоров (один из основоположников квантовой электроники, нобелевский лауреат 1964 г., академик с 1966 г.) провел серию успешных экспериментов по изучению когерентных свойств излучения релятивистских электронов, движущихся в однородном магнитном поле. И доказал, что синхротронное излучение можно использовать в качестве источника когерентного излучения в сантиметровом диапазоне, определил характеристики и уровень мощности источника. Эти исследования составили тему его докторской диссертации, которую он защитил в 1951 г. Здесь уместно напомнить: при поддержке академика Скобельцына Прохоров в короткие сроки вместе с группой молодых сотрудников лаборатории колебаний ФИАНа создал отечественную школу радиоспектроскопии. В числе этих сотрудников был и выпускник Московского инженерно-физического института Николай Басов (наряду с Александром Прохоровым один из основоположников квантовой электроники, нобелевский лауреат 1964 г., академик с 1966 г.). Но о развитии этих работ чуть позже, а пока расскажем о свойствах синхротронного излучения.

Природа его связана с испусканием электромагнитных волн ускоренным зарядом. В циклическом ускорителе он движется почти со скоростью света по



Схема циклического ускорителя:  
 1 — инжектор,  
 2 — вакуумная камера,  
 3 — ускоряющие промежутки,  
 4 — квадранты магнита,  
 5 — сгусток электронов.



окружности в магнитном поле, практически однородном вдоль траектории частицы. В этих условиях релятивистский электрон становится мощным источником электромагнитного излучения.

Рассмотрим кратко устройство такой установки. Из инжектора (как правило, это линейный ускоритель электронов или микротрон) предварительно разогнанные частицы попадают на круговую орбиту. «Захват» их в режим синхротронного ускорения возможен при достижении ими релятивистских скоростей. А на круговой орбите они удерживаются полем поворотных магнитов, которое увеличивается по мере роста энергии электронов (предел ее в бетатроне равен примерно 300 МэВ).

Синхротрон, как и бетатрон, относится к типу циклических ускорителей, но по сравнению со вторым имеет ряд преимуществ. Обычно его круговая камера разделяется на 4 части (квадранты), а между ними образуются прямолинейные промежутки. В один из них устанавливают резонатор с меняющимся электрическим полем; в нем электроны ускоряются почти до скорости света. Преимущества синхротрона значительны, ибо магниты, в отличие от бетатрона, установлены только на криволинейных участках траектории, а потери энергии на СИ компенсируются. Поэтому предел достижимой энергии определяется линейными размерами ускорителя, магнитными полями и потерями на СИ.

Основная мощность синхротронного излучения сосредоточена в жесткой области спектра — вакуумном ультрафиолете и рентгене — и именно этот диапазон длин волн важен для практического применения СИ. При этом существенны две характеристики последнего — угол раствора и длина волны максимума.

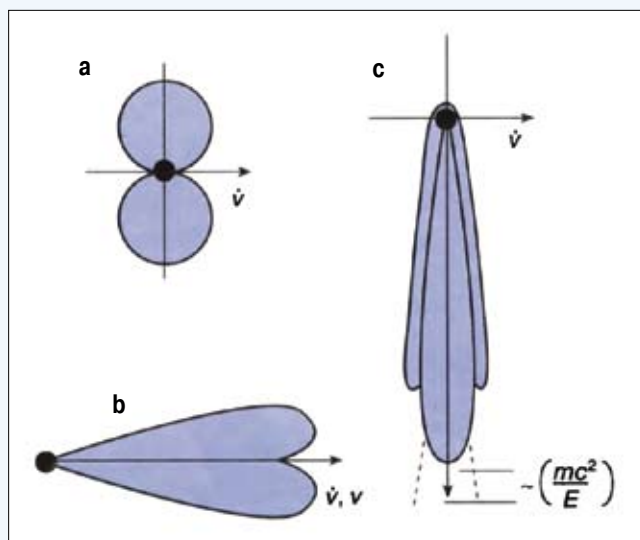
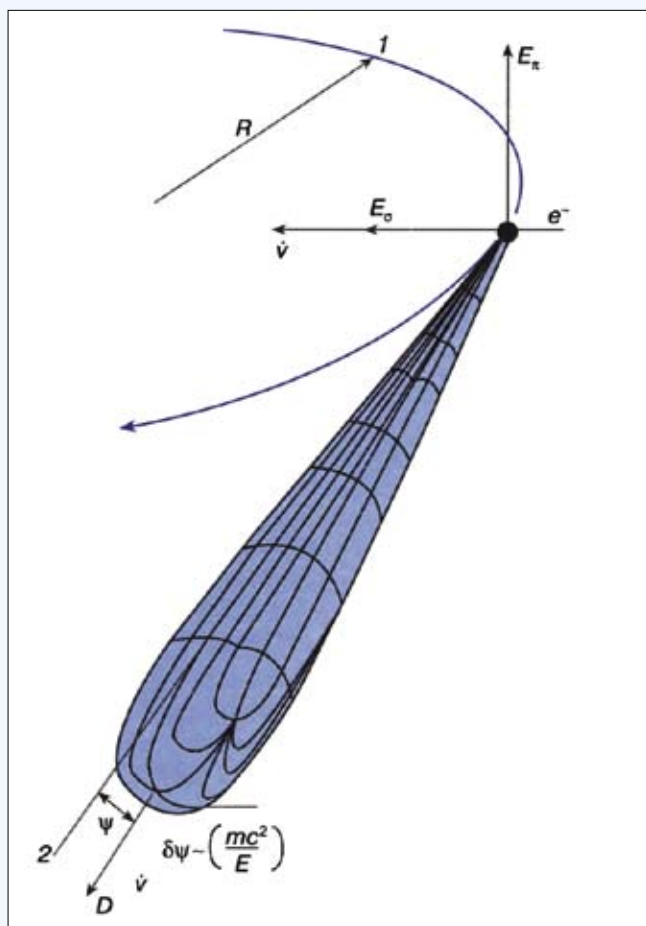
Пионерами в исследовании поляризационно-угловых характеристик СИ были упомянутый Олег Кули-

ков с соавторами. На синхротроне ФИАНа на 680 МэВ ими были получены фотографии углового распределения интенсивности СИ в компонентах линейной поляризации\* излучения для энергии электронов 250 МэВ. Эксперимент в согласии с теорией показал, что компонента линейной поляризации с электрическим вектором, перпендикулярным плоскости орбиты, имеет характерное угловое распределение с минимумом в плоскости последней. Компонента с электрическим вектором, параллельным плоскости орбиты, имеет максимум в ее плоскости. Непосредственно же в ней излучение почти полностью линейно поляризовано. «Вырезая» излучение в плоскости орбиты, можно получить линейную поляризацию, достигающую 98%. Усредненная по всем углам и длинам волн степень линейной поляризации достигает 75%. Эти показатели очень важны для изучения характеристик СИ.

Временная структура синхротронного излучения связана с типом машины, являющейся его источником. На синхротроне цикл ускорения, как правило, повторяется с частотой 50 Гц, и с такой же периодичностью — пакеты импульсов СИ. Длина сгустка электронов на орбите определяет длительность этого минимального импульса, она достигает сотен пикосекунд.

Следующим после синхротронов, но уже специализированным источником указанного излучения стали накопители. В них электроны живут на орбите часами. Здесь важно учесть длину сгустка, достигающую нескольких сантиметров (длительность до 100 пс), число сгустков на орбите и частоту обращения электрона.

\*Линейная поляризация — состояние распространяющейся электромагнитной волны (например, световой), при котором ее электрический вектор в каждой точке пространства, занятого волной, совершая колебания, остается все время в одной и той же плоскости, проходящей через направление распространения волны (прим. ред.).



Угловое распределение излучения ускоряемого электрона:  
 а — нерелятивистский электрон,  
 б — релятивистский  
 продольно ускоряемый электрон,  
 с — релятивистский поперечно ускоряемый электрон.

Угловое распределение излучения релятивистского электрона, движущегося по круговой орбите:  
 1 — орбита, 2 — направление излучения,  
 D — точка наблюдения.

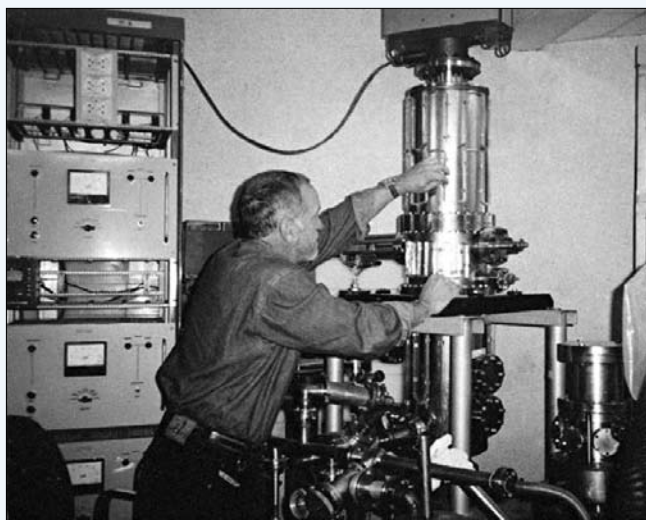
У накопителей как источников СИ есть важные преимущества перед синхротронами. Они связаны с возможностью длительного использования излучения моноэнергетических, т.е. обладающих одинаковой кинетической энергией, электронов, накопления большого числа частиц на орбите, меньшим сечением пучка электронов, более высоким вакуумом ( $10^{-9}$  торр) и низким радиационным фоном вокруг установки, что позволяет располагать исследовательскую аппаратуру в непосредственной близости от источника СИ и др. Синхротроны как источники СИ сыграли важную историческую роль в его изучении: на них оно было обнаружено, исследованы его основные характеристики, начаты (и идут до сих пор) эксперименты по его использованию. Но будущее, конечно, за накопителями: именно на их основе созданы и разрабатываются специализированные источники СИ.

### ОНДУЛЯТОРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

В 1947 г. будущий академик Виталий Гинзбург (нобелевский лауреат 2003 г.), изучая проблему создания достаточно мощных и надежных генераторов в области микроволнового диапазона, обратил внимание на возможность излучения релятивистскими электронами при их движении в системах с периодическим

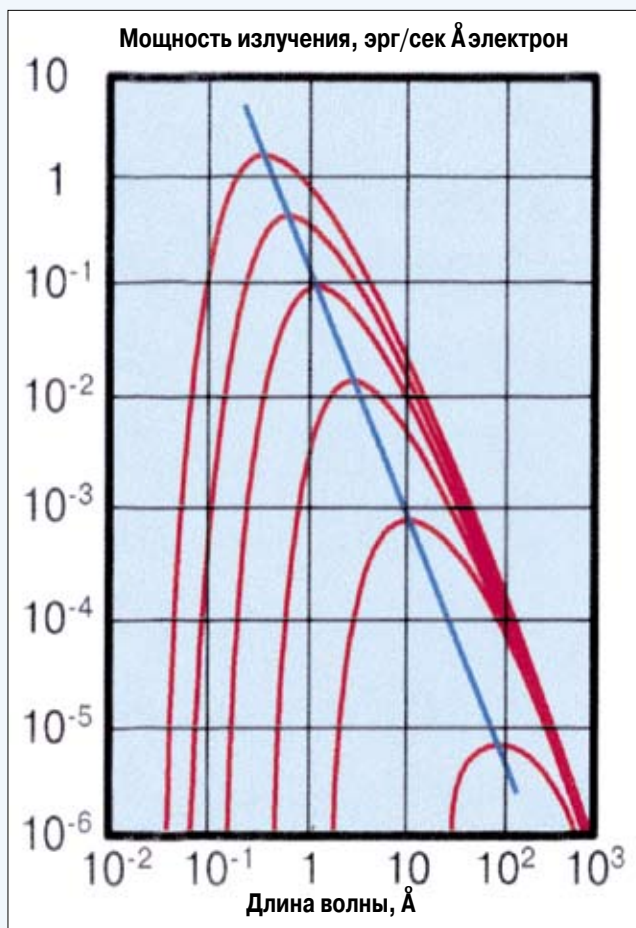
знакопеременным магнитным полем. Рассмотренная им задача явилась очень удачной моделью будущих приборов генерации электромагнитного излучения, получивших название ондуляторов. Впервые этот термин встречается в работах английского физика Г. Мотца, предложившего в 1951 г. идею такого магнитного устройства — в нем предполагалось прохождение электронами последовательного ряда магнитных полей разной полярности. На созданном в США в 1953 г. приборе были проведены первые эксперименты по наблюдению ондуляторного излучения в СВЧ-диапазоне и в области видимого света — оно генерировалось при прохождении через прибор релятивистских электронов, разогнанных с помощью линейного ускорителя до энергии 120 МэВ. Так вошел в жизнь новый макроскопический генератор света, излучающий видимую его часть.

Подобно синхротронному, ондуляторное излучение вначале не привлекло к себе особого внимания. Это было связано в значительной мере с тем, что прибор, на котором его получали, рассматривался главным образом как источник излучения в миллиметровом диапазоне волн. Тем не менее успешно проведенные первые эксперименты стимулировали дальнейший поиск. В Советском Союзе теоретические исследования в этом направлении проводили ученые физичес-



Сотрудник физического факультета,  
инженер Сергей Иванов у установки МГУ  
для вакуумной ультрафиолетовой спектроскопии  
на источнике СИ Курчатовского института.  
2005 г.

Рассчитанная излучаемая мощность  
синхротронного излучения (W)  
в зависимости от длины волны  
при различной энергии электрона.



кого факультета МГУ, Института ядерной физики СО АН СССР (Новосибирск), Физического института АН СССР им. П.Н. Лебедева, Томского государственного университета, а также Ереванского физического института, что привело к разработке достаточно полной теории изучаемого явления.

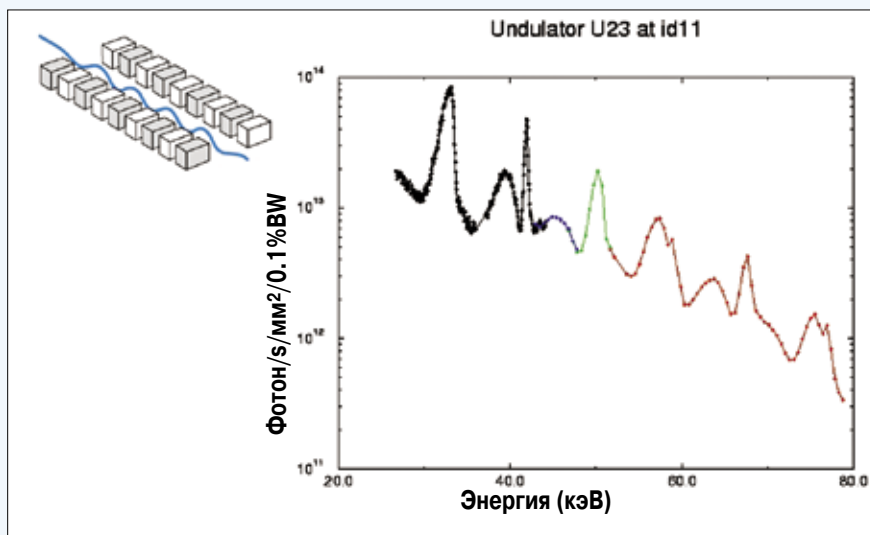
Первые наблюдения излучения из ондулятора, встроенного в камеру циклического ускорителя, были проведены в нашей стране. В 1977 г. группа сотрудников ФИАНа под руководством академика Павла Черенкова и физического факультета МГУ обнаружила его на синхротроне ФИАНа «Пахра», ускоряющего электроны до энергии 1,2 ГэВ. Они же получили первые фотографии нового типа излучения, изучили его спектральные и угловые характеристики, эффект так называемой квазимонохроматичности: ондуляторное излучение, в отличие от синхротронного, в зависимости от угла имеет разную длину волны. История визуального наблюдения повторилась: подобно синхротронному, впервые обнаруженному в 1947 г., ондуляторный свет вырвался из окна ускорительной камеры и заявил о своем существовании.

Сообщение о достижении советских физиков на Международной конференции по синхротронному излучению в Орсе (Франция, 1977 г.) вызвало большой интерес: открывались возможности для экспе-

риментального изучения свойств нового излучения, намечались пути его применения (наряду с синхротронным) в физике, химии, биологии, в технологических процессах. Ондуляторы прочно завоевывали роль необходимых приборов во всех источниках синхротронного излучения, расширяющих их эффективность и возможности эксперимента. А в последние годы они приобретают все более важное и самостоятельное значение в связи с реализацией программы создания генераторов когерентного излучения на свободных электронах. Новый этап развития техники по существу предполагает «второе рождение» ондуляторов, при этом рассмотренное выше синхротронное излучение из поворотных магнитов отодвигается на второй план.

Лазеры на свободных электронах — физика сегодняшнего дня. В этих макроскопических приборах происходит усиление (или генерация) когерентного электромагнитного излучения свободными (не связанными в атоме или молекуле) релятивистскими электронами. Одной из возможностей реализации такого лазера является индуцированное излучение электронов в ондуляторе, при этом усиливается волна распространяется в направлении поступательного движения электронов, движущихся с релятивистской скоростью. Перспективность таких прибо-





Плоский ондулятор и его излучение.

ров подчеркивается возможностью плавной перестройки частоты прибора в широком диапазоне простым изменением параметров — энергии частицы и напряженности магнитного поля, а также достаточно простым управлением поляризации электромагнитных волн.

Таким образом, свойства ондуляторного излучения оказались настолько привлекательными, что сам прибор теперь выходит на первый план как новый самостоятельный источник излучения — особый инструмент физических исследований. А в свете этого меняются и функции как накопителя, так и ускорителя — они теперь начинают играть вспомогательную роль как источники быстрых электронов, необходимых для работы ондулятора.

### РОЖДЕНИЕ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Одним из первых научных центров в нашей стране, где во второй половине 1950-х годов началось развитие новой области физики — квантовой электроники, был НИИЯФ МГУ. В 1954 г. по предложению академика Скобельцына, одновременно являвшегося директором ФИАН и НИИЯФа, Александр Прохоров, возглавлявший в ФИАНе лабораторию колебаний, основал в НИИЯФе новое подразделение, предназначенное для решения некоторых задач ядерной физики радиоспектроскопическими методами. Предполагалось начать с изучения методом электронного парамагнитного резонанса соединений, обогащенных определенными стабильными и радиоактивными изотопами, с целью определения пока неизвестных ядерных констант.

И уже в 1955 г. в этой организованной Прохоровым новой лаборатории начали эксперименты на установках, созданных руками ее первых сотрудников и студентов. Такому быстрому развороту работ способствовало тесное и плодотворное взаимодействие с лабораторией колебаний ФИАН, где к тому времени

уже был накоплен значительный методический и технический опыт радиоспектроскопических исследований. Заметим, впоследствии оно вылилось в продолжающееся до настоящего времени сотрудничество с рядом научных подразделений выросшего из лаборатории колебаний Института общей физики АН СССР (позднее — РАН), возглавлявшегося с момента его образования академиком Прохоровым.

Организация в НИИЯФе МГУ лаборатории радиоспектроскопии совпала по времени с рождением квантовой электроники. Оно связано с экспериментальным осуществлением в 1954–1955 гг. в Колумбийском университете (США) и в ФИАНе молекулярных генераторов (мазеров), рабочей средой в которых являлся пучок молекул аммиака. Следующим шагом на пути развития этой новой области физики явилось создание квантовых парамагнитных усилителей сверхвысокочастотного диапазона — твердотельных мазеров, обладающих предельно низким уровнем собственных шумов и поэтому рекордной чувствительностью. Их действие основано на явлении электронного парамагнитного резонанса, и для работы этих усилителей требуются низкие (гелиевые) температуры. Поскольку в лаборатории спектроскопии имелись тогда практически все необходимые условия, именно здесь под руководством Прохорова и совместно с лабораторией колебаний ФИАН в 1958 г. был создан первый в нашей стране и один из первых в мире действующих лабораторных макетов квантового парамагнитного усилителя.

Важное место среди активных веществ, на основе которых действуют квантовые усилители и генераторы как радиочастотного, так и оптического диапазонов (мазеры и лазеры), занимают так называемые «примесные кристаллы», содержащие изоморфные (т.е. «встроившиеся» на место некоторых основных атомов кристаллической решетки) примесные ионы переходных групп Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Изучение свойств примесных

**Будущие лауреаты Нобелевской премии академики Н. Басов и А. Прохоров (слева и в центре), доктор физико-математических наук Л. Корниенко. Нью-Йорк, сентябрь 1959 г.**

кристаллов и протекающих в них физических процессов методами радиочастотной и оптической спектроскопии позволяет выяснить не только принципиальную пригодность их использования в качестве активных веществ, но и предсказать основные характеристики создаваемых на этой основе квантово-электронных приборов, находить пути улучшения их характеристик.

С 1958 г. на протяжении почти десяти лет лаборатория НИИЯФ МГУ совместно с ФИАНом и рядом других институтов участвовала в исследованиях и разработках, которые привели к созданию целой гаммы квантовых парамагнитных усилителей на различных диапазонах длин волн. Они внедрены в системы дальней космической связи, радиоастрономию и получили высокую оценку: члены авторского коллектива — сотрудники НИИЯФ (в их числе доктор физико-математических наук Георгий Зверев и Леонид Корниенко), ФИАНа и других организаций были отмечены Государственной премией СССР в области науки и техники 1976 г.

Фундаментальные исследования кристаллов с примесями ионов переходных групп железа и редких земель, проведенные в лаборатории НИИЯФ в 1950—1960-х годах, стали заметным вкладом в физику твердого тела и радиоспектроскопию, в физические основы квантовой электроники.

К этому времени относится и начало работ в области лазерной физики. Так, в 1962 г. в лаборатории был запущен первый лазер (на рубине). Его использовали при создании импульсных квантовых парамагнитных генераторов миллиметрового диапазона длин волн (вплоть до 1 мм) с оптической накачкой. При этом, в частности, освоили методику получения сильных (до 10 Тл) импульсных магнитных полей.

Затем последовал цикл работ по лазерной генерации на ряде впервые синтезированных кристаллов. В их числе — лазерный излучатель на кристалле ниобата лития с примесью ниодима ( $\text{LiNbO}_3:\text{Nd}^{3+}$ ). Кристаллы ниобата лития (беспримесные) нашли в те годы широкое применение в квантовой электронике для получения гармоник и модуляции лазерного излучения. Очевидно, что лазер на таком кристалле, обладающем одновременно хорошими электрооптическими характеристиками, представлял интерес для многих практических приложений.

В начале 1970-х годов ведущая роль в проводимых у нас исследованиях переходит от радиоспектроскопических методов к оптическим. В итоге была сформирована единая лаборатория физических проблем квантовой электроники, позднее преобразованная в отдел. Значительное место в ее тематике заняло изучение динамики генерации твердотельных лазеров, в частности, с оптической линией задержки внутри



резонатора. Последняя позволяет существенно увеличить его эффективную длину и изменять ее в широких пределах, тем самым управляя характеристиками твердотельного лазера в различных режимах. Эти работы отдела намного опередили аналогичные исследования в других научных центрах нашей страны и за рубежом.

Уже в последнее время использование СИ для тестирования и исследования сцинтилляторов\*, предназначенных для Большого адронного коллайдера\*\* (Европейский центр ядерных исследований — ЦЕРН, Швейцария), позволило получить для его детекторов образец с коротким (наносекундным) временем сцинтилляции. В результате все 150 т этих веществ (вольфрамата свинца) были изготовлены на российских предприятиях. В отделе также разрабатывались высокоэффективные сцинтилляторы для физики высоких энергий и медицины (позитрон-эмиссионная томография).

\*Сцинтилляторы — вещества, обладающие способностью излучать свет при поглощении ионизирующего излучения (гамма-квантов, электронов и т.д.). Основное их применение — сцинтилляционные детекторы ядерных излучений (прим. ред.).

\*\*См.: Л. Смирнова. Мегaproект XXI века. — Наука в России, 2009, № 5 (прим. ред.).

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЯДЕР

---

Доктора физико-математических наук  
Владимир ВАРЛАМОВ, заведующий лабораторией  
Научно-исследовательского института ядерной физики  
им. Д.В. Скобельцына МГУ,  
Борис ИШХАНОВ, заведующий кафедрой  
общей ядерной физики физического факультета  
МГУ им. М.В. Ломоносова,  
Владимир НЕДОРЕЗОВ, заведующий лабораторией  
Института ядерных исследований РАН

---

**Исследования по физике атомного ядра  
и прежде всего электромагнитных взаимодействий ядер  
связаны в нашей стране с именем академика Дмитрия Скобельцына.  
Их основы были заложены в 1940 г., когда он организовал  
первую в МГУ и в СССР экспериментальную кафедру физики  
атомного ядра, и получили развитие в 1946 г.,  
после создания по его инициативе Научно-исследовательского  
института ядерной физики (НИИЯФ) МГУ.  
В 1950-х годах новые возможности для изучения  
электромагнитных взаимодействий ядер были созданы  
в руководимом тогда Скобельцыным  
Физическом институте АН (ФИАН) им. П.Н. Лебедева.  
С начала 1960-х годов НИИЯФ и организованная на базе ФИАН  
Лаборатория фотоядерных реакций (ЛФЯР)  
Института ядерных исследований (ИЯИ) РАН вошли в число  
мировых центров исследований  
в области физики фотоядерных реакций.**





Ускорительный корпус  
НИИЯФа МГУ  
на Ленинских горах.

### ДИПОЛЬНЫЙ ГИГАНТСКИЙ РЕЗОНАНС

Атомные ядра исследуют разными методами. Один из самых эффективных — с помощью бомбардировки гамма-квантами, т.е. фотонами высоких энергий, длина волны которых сравнима с размером ядра. Основное преимущество данного подхода в том, что свойства электромагнитного взаимодействия ядер хорошо изучены, поэтому достаточно просто разделить процессы поглощения фотонов атомным ядром и последующей динамики возбужденного ядра.

Начало исследований электромагнитных взаимодействий в НИИЯФе связано с вводом в строй в 1959 г. ускорителя электронов — бетатрона — на энергию 35 МэВ. В последующем десятилетии они были продолжены под руководством профессора Валериана Шевченко. В ЛФЯР исследованиями руководила доктор физико-математических наук Любовь Лазарева.

В 1945 г. физик-теоретик Аркадий Мигдал (академик с 1966 г.) предсказал, что при поглощении гамма-квантов ядром в нем под действием электромагнитного поля должны возникать когерентные\* синхронные колебания определенной частоты (резонанс) всех протонов относительно всех нейтронов. Атомное ядро как бы уподобляется электрическому диполю, вследствие чего возникающий резонанс был назван дипольным гигантским резонансом (ДГР). После его открытия выявили — он характерен для всех атомных ядер. По поводу объяснения этого явления в последующие десятилетия шли активные научные дискуссии. Для описания природы ДГР в ядерной физике возникла принципиально новая концепция коллективных движений протон-нейтронной

среды (как известно, атомное ядро состоит из протонов и нейтронов, вместе называемых нуклонами и подчиняющихся законам квантовой механики).

Однако уже к середине 1950-х годов стало ясно: на основе только такого подхода невозможно описать новые экспериментальные данные, указывавшие на существенную роль независимых движений нуклонов в ядре. Возникла оболочечная модель ядра, аналогичная модели атомных оболочек, т.е. в едином потенциале притяжения между всеми нуклонами независимые протоны и нейтроны находятся в определенных энергетических состояниях — на соответствующих ядерных оболочках. Низшие по энергии оболочки, в которых частицы связаны наиболее сильно, называются внутренними. А вот на внешних нуклоны связаны гораздо слабее.

В соответствии с принципом Паули\*, распространяющемся на все частицы с полужелым спином\*\*, протоны и нейтроны ядра в основном состоянии занимают низшие энергетические уровни. Поскольку в оболочечной модели эти частицы находятся в различных энергетических состояниях, поглощение ядром гамма-кванта должно приводить к возникновению промежуточной структуры ДГР.

Большую роль в развитии этих новых представлений об атомном ядре сыграло открытие в НИИЯФе промежуточной структуры ДГР в средних и тяжелых

\* Принцип Паули — один из основных в квантовой физике, он объясняет порядок заполнения оболочек в атоме электронами, а также оболочек в ядре протонами и нейтронами; сформулирован в 1925 г. швейцарским физиком-теоретиком Вольфгангом Паули (прим. авт.).

\*\* Спин — собственный момент количества движения микрочастицы, являющийся аналогом классического вращения тела вокруг внутренней оси; может принимать целые или полужелые значения (в единицах постоянной Планка) (прим. ред.).

\* Когерентность — согласованное протекание во времени нескольких колебательных или волновых процессов (прим. ред.).



**Лаборатория фотоядерных реакций  
ИЯИ РАН.**

ядрах. Оно стало результатом существенного улучшения научного инструментария — реализации «многоканального» метода измерения сечения\* фотоядерной реакции, в основе которого — быстрое (с частотой 50 Гц) циклическое изменение энергии гамма-излучения. Метод позволял одновременно проводить такие измерения при 512 значениях энергии фотонов и практически исключал погрешности регистрирующей аппаратуры. Это повысило точность измерений характеристик фотоядерных реакций до рекордного значения 0,1%, что не удавалось получить прежде. Кроме того, был создан высокоэффективный детектор нейтронов, в котором их регистрировали с помощью 80 счетчиков. По своей эффективности (45%) он превосходил все аналоги, использовавшиеся в экспериментах с гамма-квантами. Под руководством математика академика Андрея Тихонова в 1960–1970-х годах были разработаны специальные методы анализа фотоядерных данных, в настоящее время активно используемые в различных лабораториях мира. Усовершенствование методов получения, обработки и анализа данных для большого (около 40) числа ядер в широком диапазоне массовых чисел\*\* ( $A = 9–208$ ) позволило впервые обнаружить промежуточную структуру ДГР.

Классическими стали основополагающие работы по фотоядерным реакциям, выполненные в ЛФЯР в 1955–1980-х гг. Предложенный тогда Любовью Лазаревой метод измерения сечения полного фотопоглощения широко используется в ведущих научных центрах мира. Для проведения этих измерений в той же лаборатории создали 9-канальный магнитный парный спектрометр гамма-квантов; в нем впервые

применили метод цифрового кодирования информации. Также впервые было показано влияние оболочечных эффектов на форму и расщепление ДГР для большой группы легких ядер. В частности, сечение полного фотопоглощения для ядра изотопа кислорода  $^{16}\text{O}$ , измеренное в ЛФЯР, можно встретить во многих российских и зарубежных монографиях и учебниках.

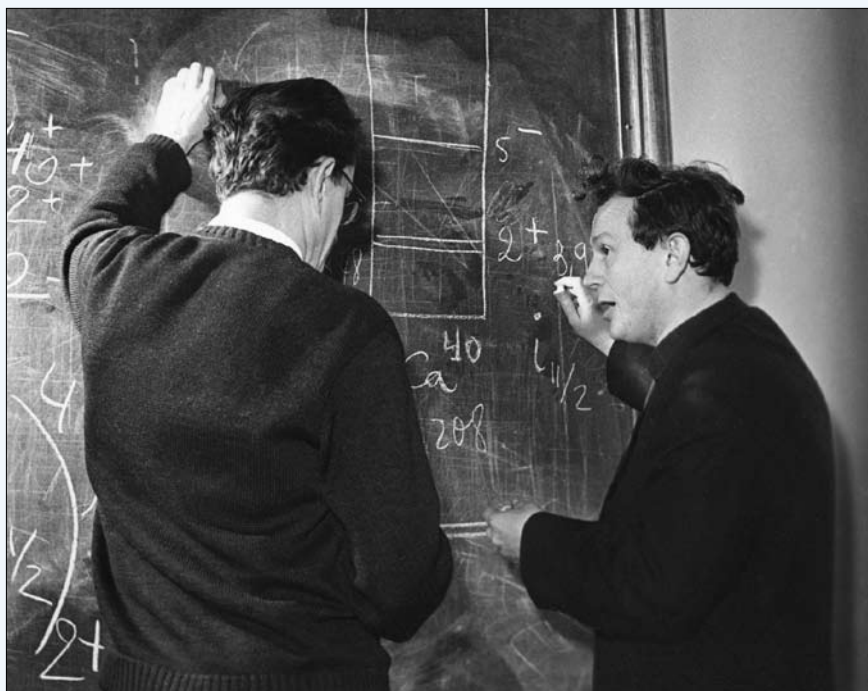
Поглощение гамма-квантов ядром приводит к возбуждению в нем ДГР, затем распадающегося с испусканием нейтронов и протонов в легких ядрах и нескольких нейтронов — в тяжелых. Для объяснения природы ДГР в НИИЯФе в 1970–1975-х гг. предложен принципиально новый метод его изучения — на основе анализа возбужденных состояний ядер, образующихся в фотоядерных реакциях. Впервые были определены сечения примерно 300 из них ( $A=11–60$ ). Анализ этих экспериментальных данных позволил совершить качественный скачок в понимании физики изучаемого явления. Получена информация о том, как происходит перераспределение энергии, внесенной в ядро гамма-квантом, между нуклонами. Была определена вероятность прямого механизма распада ДГР, при котором энергия налетающего гамма-кванта передается непосредственно одному из вылетающих из ядра нуклонов: на долю такого механизма в среднем в реакции гамма-квант–протон приходится 50% сечения, а в реакции гамма-квант–нейтрон — 60%. Доказано, что с увеличением энергии возбуждения и массового числа ядра вероятность прямого распада ДГР уменьшается от 100% для  $A=12$  до 50% для  $A=40$ , тогда как для ядер с  $A>100$  доминирует распад через стадию составного ядра, образующегося в том случае, когда энергия налетающего гамма-кванта перераспределяется между большим числом нуклонов ядра.

Установлено также, что промежуточная структура ДГР связана с конфигурационным расщеплением —

\*Сечение ядерной реакции — величина, характеризующая вероятность ее протекания; измеряется в  $\text{см}^2$  или в барнах ( $1\text{барн} = 10^{-24}\text{см}^2$ ) (прим. авт.).

\*\*Массовое число ( $A$ ) выражается суммой чисел протонов ( $Z$ ) и нейтронов ( $N$ ) в ядре (прим. авт.).





Доктор физико-математических наук  
Любовь Лазарева.

Профессора Владимир Неудачин  
и Валериан Шевченко.

разделением по энергии переходов нуклонов из внутренних и внешних оболочек ядра. Выполненные в 1980–2000-х годах физиками Австралии, Бельгии, США, Швейцарии и Японии эксперименты, в которых ядра возбуждались различными налетающими частицами, показали: открытая в пионерских исследованиях сотрудниками НИИЯФа и ЛФЯР ИЯИ указанная выше закономерность имеет универсальный характер. Она проявляется в реакциях под действием не только гамма-квантов, но и других частиц. Концепция конфигурационного расщепления позволила понять «отклик» легких ядер на действие различных внешних полей.

Открытые закономерности требовали новых теоретических подходов, чему Д. Скобельцын всегда уделял большое внимание. Работы теоретиков НИИЯФа и ЛФЯР ИЯИ по микроскопическому описанию ДГР способствовали достижению прогресса в экспериментальных исследованиях. Была показана важность учета оболочечной структуры ядра при описании ширины ДГР, выяснена роль одночастичных состояний (связанных с переходами одного нуклона между оболочками) в процессах формирования коллективных возбуждений в ядрах.

Большой вклад в теоретические исследования фотоядерных реакций внес профессор Рудольф Эрамжян, работавший в ЛФЯР ИЯИ в 1980–1990-х годах. С его участием были сформулированы основные положения концепции конфигурационного расщепления ДГР. В совместных работах сотрудников НИИЯФа и ЛФЯР ИЯИ по фоторасщеплению изотопов  ${}^6\text{Li}$  и  ${}^7\text{Li}$  эти положения подтвердились. Отметим также, что помимо изучения этих проблем Эрамжян совместно с российскими и зарубежными коллегами активно

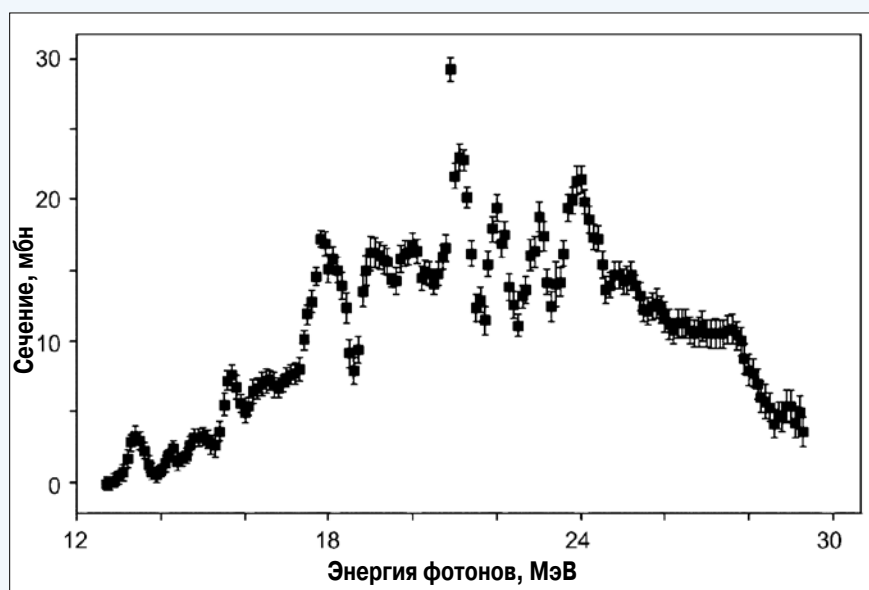
участвовал в развитии нескольких научных направлений физики ядра и элементарных частиц.

В 1987 г. Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий внес в соответствующий реестр под № 342 открытие «Закономерность конфигурационного расщепления гигантского дипольного резонанса у легких атомных ядер» (авторы — сотрудники НИИЯФа и ЛФЯР ИЯИ: профессора Борис Ишханов, Игорь Капитонов, Владимир Неудачин, Валериан Шевченко, Николай Юдин, Рудольф Эрамжян).

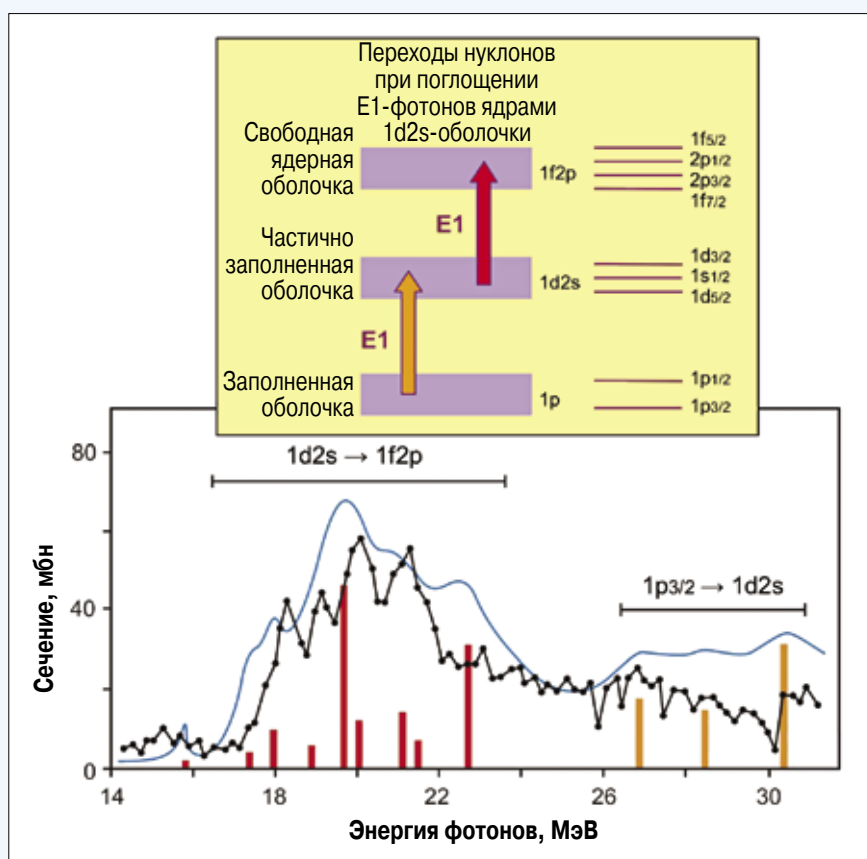
До сих пор мы ограничивались рассмотрением ДГР в сферических ядрах, т.е. по форме близких к сфере. Но изучение ряда реакций под действием гамма-квантов привело к неожиданному результату: оказалось, что большинство ядер деформированы, имеют форму вытянутого или сплюснутого эллипсоида. Было показано, что отражением сферической симметрии формы ядра является проявление ДГР в виде одного максимума, а наиболее яркий эффект в несферических ядрах, имеющих форму эллипсоида, — расщепление дипольного гигантского резонанса на два максимума, соответствующие колебаниям ядерного вещества под действием электромагнитного поля вдоль большой и малой осей эллипсоидального ядра. В ядрах  ${}^{232}\text{Th}$ ,  ${}^{235}\text{U}$ ,  ${}^{238}\text{U}$ ,  ${}^{239}\text{Pu}$  при числе протонов  $\sim 90$  был обнаружен переход от сферической к сильно деформированной форме ядер. Эта уникальная информация была получена в проведенных в ЛФЯР ИЯИ пионерских исследованиях реакций деления урана и тория.

Изучение фотоядерных реакций на тяжелых ядрах принесло еще одну загадку. Максимумы сечений реакций с вылетом из ядра протонов, оказалось,





Промежуточная структура  
ДГР ядра  $^{90}\text{Zr}$ .



Конфигурационное расщепление  
ДГР ядра  $^{28}\text{Si}$ .

сдвинуты к большим энергиям относительно максимумов сечений реакций с вылетом нейтронов, а выход протонов из тяжелых ядер с  $A > 100$  оказался на 2–3 порядка большим, чем предсказывала теория. Сравнение выходов протонов и нейтронов послужило первоначальным толчком к возникновению идеи изотопической инвариантности — независимости

ядерных взаимодействий от электрического заряда частиц.

### СИЛЬНЫЕ И СЛАБЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НУКЛОНОВ В ЯДРЕ

Напомним, до открытия атомного ядра было известно о двух типах взаимодействий: гравитационном,

**Изменение формы и ширины ДГР  
в зависимости от деформации ядра.**

описывающем взаимное притяжение массивных тел — движение планет Солнечной системы, падение предметов на поверхность Земли под действием силы тяжести и т.п., и электромагнитном, когда речь идет о движении заряженных тел, магнитов. В отличие от гравитационного, всегда приводящего к взаимному притяжению тел, электромагнитное взаимодействие ведет как к притяжению, так и к отталкиванию.

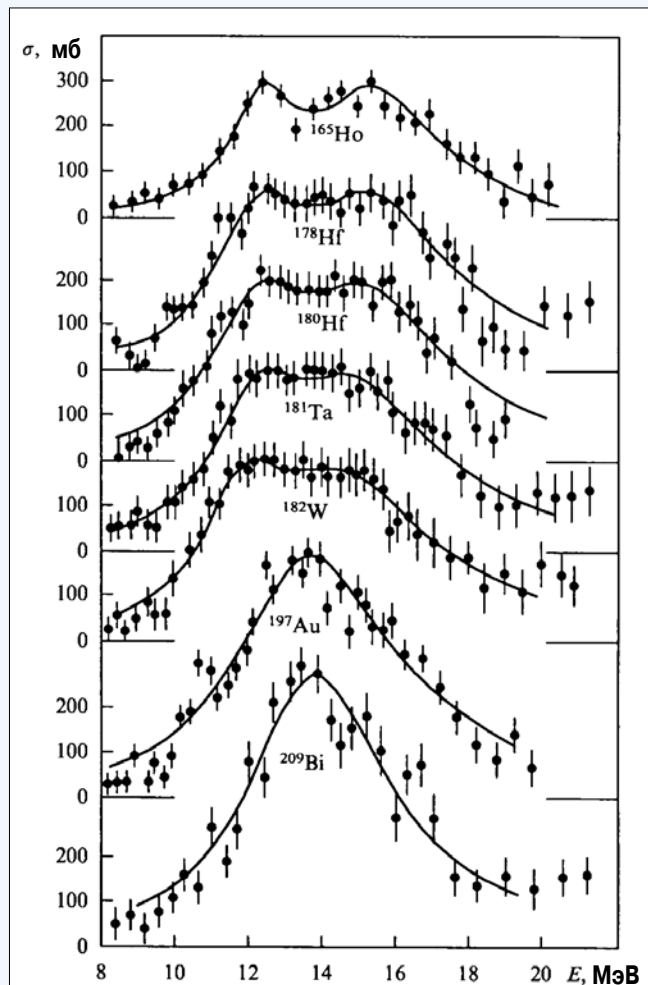
После открытия атомного ядра, состоящего из положительно заряженных протонов и имеющих нулевой электрический заряд нейтронов, стало ясно: ни то, ни другое взаимодействие не могут связать их в атомное ядро. Первое — из-за малости масс протонов и нейтронов, второе — из-за нулевого электрического заряда нейтрона. Оказалось, что эти частицы связаны в ядре за счет взаимодействия ранее неизвестного типа, названного сильным, которое в 100 раз сильнее электромагнитного. Сильное взаимодействие проявляется на расстоянии лишь  $\sim 10^{-13}$  см, но этого достаточно для того, чтобы связать протоны и нейтроны, ибо характерные масштабы атомных ядер имеют такие же величины.

У протона и нейтрона много одинаковых характеристик, в том числе — равные спины и почти одинаковые массы. Однако первый в отличие от второго положительно заряжен. Поэтому с точки зрения атомной физики, в которой электрические силы доминируют, различие между данными частицами — колоссальное. Если добавление к ядру лишнего нейтрона превращает атом в другой изотоп того же элемента, обладающий практически теми же химическими свойствами, то добавление протона к ядру увеличивает на единицу его атомный номер, приводя к образованию нового химического элемента, обладающего фундаментальным образом измененными свойствами.

Подчеркнем, в ядерной физике электрические силы — не главные, они уступают первенство короткодействующим, но гораздо более интенсивным ядерным силам. Оказывается, по отношению к ядерным взаимодействиям протон и нейтрон ведут себя совершенно одинаково. Это дает основание считать их не разными частицами, а двумя зарядовыми состояниями одной — нуклона. Эти два состояния описываются проекциями в зарядовом пространстве квантового числа\* изоспина\*\*, характеризующего свойство зарядовой симметрии сильных взаимодействий. Обнаружение расщепления ДГР, названного изоспиновым, позволило существенно продвинуться в интерпретации большой ширины ДГР, которую не

\* В квантовой физике состояние частицы описывается набором квантовых чисел, определяющих все возможные значения физической величины, характеризующей различные связанные квантовые системы — атомы и атомные ядра (прим. авт.).

\*\* Изоспин — одна из квантовых характеристик, определяющих зарядовое состояние сильновзаимодействующих частиц (прим. авт.).

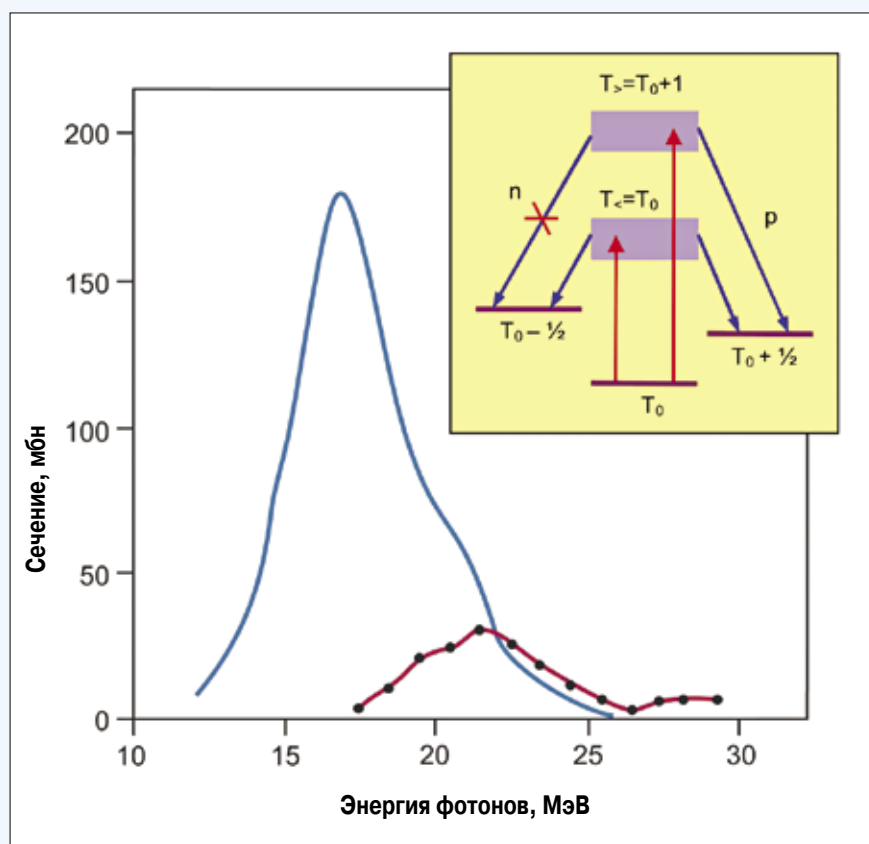


удавалось объяснить в рамках существовавших теоретических моделей.

Дальнейшее изучение свойств атомных ядер привело к открытию еще одного типа взаимодействия — слабого, проявляющегося на расстояниях  $\sim 10^{-16}$  см. Свободный протон, не связанный силами, действующими внутри ядра, является стабильной частицей. Свободный нейтрон нестабилен (его период полураспада — время, в течение которого распадается половина первоначального количества частиц, — 10,23 мин). Однако в результате сильного и слабого взаимодействий внутри ядра свойства протона и нейтрона изменяются. Первый может вести себя в нем как стабильная частица или распасться, превращаясь в нейтрон, позитрон и нейтрино. Аналогично ведет себя в ядре и нейтрон.

Сильное и слабое взаимодействия нуклонов проявляются в явлении, которого нет в классической физике — радиоактивности: превращению одних ядер в другие.

Постановка новых экспериментов сопровождалась постоянным совершенствованием методики их проведения и созданием новых методов ускорения частиц. В настоящее время в НИИЯФе действуют три



Изоспиновое расщепление ДГР ядра  $^{90}\text{Zr}$   
(линия — реакция: гамма-квант, нейтрон;  
точки — реакция: гамма-квант, протон).

разрезных микротрона\* на энергии 35, 55 и 75 МэВ, построенные специалистами Национального исследовательского ядерного университета, ФИАНа, Института теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова, Московского физико-технического института, Саратовского государственного университета. Эти установки открыли принципиально новые возможности для экспериментов.

Механизм взаимодействия фотона с ядром существенно изменяется в зависимости от энергии первого. Если в области энергий до ~20 МэВ он взаимодействует с ядром как с целым объектом, то при больших энергиях — с отдельными системами, составленными из небольшого числа нуклонов. В итоге фотон вносит в ядро большую энергию и малый импульс. Поэтому, когда его энергия ~20 МэВ, ее доля, переданная отдельному нуклону, компенсируется за счет взаимодействия последнего с другими нуклонами ядра.

При взаимодействии фотонов с энергией 50–70 МэВ с ядрами поглощенная энергия высвобождается испусканием нескольких частиц, что приводит к образованию радиоактивных ядер. Для исследования последних разработан метод регистрации радиоактивности, образующейся в облученной фотонами мишени. В результате были получены изотопы, возникающие после вылета из исходного ядра до 6–7

нейтронов. Эти опыты показали, как изменяются свойства ядер в зависимости от соотношения в них чисел протонов и нейтронов.

Увеличение энергии фотона, соответствующее уменьшению его длины волны, приводит к тому, что во взаимодействиях начинают участвовать в основном пары близко расположенных нейтронов и протонов. В НИИЯФе было установлено: соответствующий этому явлению квазидейтронный механизм играет существенную роль в области энергий фотонов 30–70 МэВ.

### ЯДРО — ГАЗ, ЖИДКОСТЬ, ПЛАЗМА?

Изучение взаимодействий гамма-кванта с атомным ядром показало: оно представляет собой уникальный физический объект, обладающий рядом взаимоисключающих свойств. На что же похоже атомное ядро?

Одно из основных его свойств — существование в нем движения независимых (слабо взаимодействующих) нуклонов. Из этого следует, что оно похоже на вырожденный ферми-газ, т. е. на плотный идеальный газ, состоящий из частиц, подчиняющихся принципу Паули. Однако эта аналогия ограничена, ибо ядро имеет конечный размер и почти постоянную плотность, а не стремится занять максимальный объем, что свойственно газу. Иначе говоря, оно «держит» само себя, сохраняя свой объем. Постоянная плотности ядерной материи делает ядро похожим на каплю жидкости, которую из-за проявления кванто-

\* Разрезной микротрон — современный ускоритель электронов, в котором объединены многие свойства классического циклического микротрона и линейного ускорителя (прим. авт.).



**Участники  
международного Семинара  
по электромагнитным  
взаимодействиям  
«EMIN-2009» в ЛФЯР ИЯИ.**



вых свойств называют ферми-жидкостью. По аналогии с обычной жидкостью ядро должно иметь сферическую форму. Поэтому существование таких ядер, форма которых в равновесном состоянии сферическая, — сильный аргумент в пользу схожести атомного ядра и жидкой капли. В то же время присутст-

вие в природе деформированных атомных ядер сближает их с твердым телом. Однако эта схожесть также весьма приближительна из-за наличия в ядре независимых движений отдельных протонов и нейтронов, свойственных атомам в газе, а не в твердом теле.



**Участники совещания  
Сети центров ядерных данных  
МАГАТЭ в НИИЯФе МГУ. 2008 г.**

Существование коллективных возбужденных состояний усиливает схожесть ядра с газом (звуковые волны), твердым телом (квазичастицы-фононы) и с плазмой (квазичастицы-плазмоны). Но его схожесть с плазмой, в которой основную роль играют далекодействующие кулоновские (их еще называют электростатическими) силы, также весьма ограничена, ибо в атомном ядре наряду с далекодействующим кулоновским взаимодействием между протонами основную роль играет короткодействующее ядерное взаимодействие между нуклонами. Таким образом, по всей совокупности свойств ядерная материя является новым, не встречающимся в окружающем нас «макроскопическом» мире состоянием вещества с уникальными свойствами. Их многообразие породило модели, отражающие различные свойства симметрии атомных ядер.

При увеличении энергии ( $E > 100$  МэВ) фотона его длина волны становится сравнимой с размером нуклона ( $10^{-13}$  см), что открывает новые возможности изучения внутренней структуры протона и нейтрона. Поглощение последними гамма-квантов приводит к образованию возбужденных состояний нуклона, проявляющихся как резонансы в сечении поглощения фотонов в области энергий  $E > 300$  МэВ (нуклонные резонансы). При этом может происходить перестройка кварков\* внутри нуклона, изменение их орбитальных моментов. В частности, изменение направления спина одного из кварков в протоне приводит к образованию дельта-резонанса, распадающегося затем с испусканием пионов (пи-мезонов) — легких частиц с массой  $\sim 140$  МэВ/ $c^2$ .

Внутреннюю структуру протона и нейтрона изучают на специально построенных ускорителях высоких энергий. Эксперименты такого типа дорогостоящи и трудоемки, поэтому они обычно выполняются совместными усилиями ученых нескольких стран в различных коллаборациях. Физики НИИЯФа и ЛФЯР участвуют во многих из них, в частности, на ускорителях JLAB (США), MAMI (Германия), ESRF (Франция) и др. Полученные при этом данные свидетельствуют о том, что протон и нейтрон имеют сложную внутреннюю структуру. Поскольку их радиусы равны  $\sim 0,8 \times 10^{-13}$  см, энергии современных ускорителей ( $\sim 5$ – $10$  ГэВ) позволяют наблюдать отдельные составные части нуклонов. Прежде всего, это — три валентных кварка, окруженных глюонами, обеспечивающими сильное взаимодействие кварков. Глюоны непрерывно рожают новые кварк-антикварковые пары, которые затем снова превращаются в глюоны.

## НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные и теоретические исследования фоторасщепления атомных ядер, выполненные в НИИЯФе, ЛФЯР ИЯИ, а также в ряде других инсти-

тутов, потребовали интенсивной компьютерной обработки данных. В этой связи сотрудники НИИЯФа, Научно-исследовательского вычислительного центра и факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова активно создают уникальные программные комплексы. Эти работы, развернутые в середине 1970-х годов при активном содействии ректоров МГУ академиков Рэма Хохлова и Анатолия Логунова, поддерживаются нынешним ректором академиком Виктором Садовничим. В НИИЯФе в конце 1970-х годов был организован Центр данных фотоядерных экспериментов, ориентированный на сбор, систематизацию, анализ и информирование специалистов о свойствах атомных ядер и характеристиках ядерных реакций. Он участвует в международной Сети центров ядерных данных, функционирующей под эгидой МАГАТЭ, и внес определяющий вклад в распространение соответствующих данных, полученных мировым сообществом. Они доступны пользователям Интернета (<http://cdfc.sinp.msu.ru>) и широко используются в научных исследованиях и учебном процессе.

За последние годы тематика исследований по физике электромагнитных взаимодействий ядер существенно расширилась, появились новые направления. Среди них следует отметить изучение спиновых структурных функций легчайших ядер, нуклонов и вновь открытых элементарных частиц. Изучаются также нелинейные эффекты квантовой электродинамики при взаимодействии интенсивных электромагнитных полей с веществом на пучках релятивистских ионов, электронов и фемтосекундных тераваттных лазеров. Координацию этих работ осуществляет Научный совет по электромагнитным взаимодействиям ядер РАН. Авторитет российских ученых, активно участвующих в различных международных программах, находит свое отражение в международных Семинарах по электромагнитным взаимодействиям, раз в 3 года организуемых совместно ЛФЯР ИЯИ и МГУ.

В заключение отметим: исследования, о которых говорилось выше, послужили основой для поиска в области более высоких энергий, в которой на первый план выходят особенности структуры нуклонов, входящих в состав ядра, свойства элементарных частиц, фундаментальные вопросы этого раздела физики. Полученные результаты многолетних исследований электромагнитных взаимодействий ядер привели к пересмотру многих представлений о строении атомного ядра и во многом способствовали формированию современной физической картины микромира.

\* Кварки — фундаментальные частицы, из которых состоят сильно-взаимодействующие частицы; в свободном состоянии не наблюдаются; внутри протона и нейтрона кварки связаны с помощью глюонов — частиц, переносящих сильное взаимодействие (прим. авт.).

## К 125-летию со дня рождения Н.И. Вавилова



«И право, хочется создавать храм науке, настоящей науке»

«...В целом перед нами всеми — огромные, интересные, нужные России и всему миру задания. Бродя по свету и обходя мир (по самым вершинам), и критикуя самого себя и свою работу — привезу уверенность пути».

A handwritten signature in cursive script, reading "N. Vavilov".

Академик Н.И. Вавилов



# «ЖИЗНЬ Я ПРИВЫК СВЯЗЫВАТЬ С НАУКОЙ»

---

Татьяна АВРУЦКАЯ,  
хранитель Мемориального кабинета-музея Н.И. Вавилова,  
ученый секретарь Комиссии по сохранению  
и разработке научного наследия Н.И. Вавилова РАН,  
научный сотрудник Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН

---

**Есть в науке имена, почитаемые во всем мире.  
Одно из них — Николай Иванович Вавилов,  
великий Человек и естествоиспытатель, автор классических  
теоретических обобщений: закона гомологических рядов  
в наследственной изменчивости, теории иммунитета растений,  
учения о центрах происхождения культурных растений.  
Он разделил трагическую судьбу многих отечественных генетиков,  
создававших славу своей страны и репрессированных в 1930-е годы.  
В 2012 г. мы отмечаем его 125-летие.**

## ПРИЗВАНИЕ И СУДЬБА УЧЕНОГО

Николай Иванович Вавилов родился 25 (13) ноября 1887 г. в Москве в семье крупного коммерческого деятеля, гласного Московской городской думы Ивана Ильича Вавилова и Александры Михайловны (урожденной Постниковой). Все их дети посвятили жизнь науке. Сестры Александра и Лидия связали свою судьбу с медициной. Младший брат Сергей стал выдающимся физиком, президентом АН СССР. Николай же выбрал биологию.

Желание отца видеть младшего сына своим преемником определило выбор учебного заведения: Николай поступил в Императорское московское коммерческое училище. Окончив его в 1906 г., юноша получил звание кандидата коммерции и личного почетного гражданина, однако завершить на этом образование не захотел. Влечение к естественным наукам, агрономии привело Вавилова в Московский сельскохозяйственный институт — «лучшую с.-х. школу», по его собственному определению. В 1911 г. ему было присвоено

звание ученого агронома 1-го разряда, и молодой исследователь остался при кафедре частного земледелия профессора Дмитрия Прянишникова\* для подготовки к профессорской деятельности.

В студенческие годы Николай жадно впитывает знания, изучает научную литературу, выступает с докладами, совершает первые географические экспедиции, начинает исследования и публикует работу «Голые слизни — вредители полей и огородов», удостоенную премии Политехнического музея им. Анатолия Петровича Богданова\*\* (1910 г.). Эту работу ему зачли как дипломную.

\*Дмитрий Николаевич Прянишников (1865—1948) — агрохимик, биохимик и физиолог растений. Действительный член АН СССР с 1929 г. (прим. ред.).

\*\*Анатолий Петрович Богданов (1834—1896) — русский зоолог, антрополог, историк зоологии, один из основателей российской антропологии и первых антропологических учреждений в России, популяризатор естественных наук; член-корреспондент Петербургской АН с 1890 г. (прим. ред.).

**Николай Вавилов  
с мамой Александрой Михайловной.  
Весна 1910 г.**

В 1913 г. молодой ученый для завершения образования был командирован за казенный счет в Англию, Францию и Германию, где работал в лучших лабораториях: у английских генетиков Уильяма Бэтсона и Реджинальда Пеннета, в музее Вильморен\*, у выдающегося немецкого естествоиспытателя Эрнста Геккеля в Йене. Начало Первой мировой войны заставило Вавилова вернуться на родину. По возвращении в Россию он продолжил работу на селекционной станции Петровской земледельческой и лесной академии (ныне — Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева), сдал магистерские экзамены. А в 1917 г. его избрали профессором кафедры частного земледелия и селекции агрономического факультета Саратовского университета и заведующим Отделом прикладной ботаники и селекции Сельскохозяйственного ученого комитета.

В 1917–1921 гг. в Поволжье царили разруха, голод, эпидемии, отсутствовало самое необходимое. Но для Николая Ивановича это был очень важный период — время удивительно продуктивной работы, завершившейся фундаментальным общебиологическим обобщением — Законом гомологических рядов в наследственной изменчивости. Он показал, что «виды и роды, генетически близкие, характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд форм в пределах одного вида, можно предвидеть нахождение параллельных форм у других видов и родов».

В 1921 г. начался новый этап в жизни Вавилова — он переехал в Петроград и в том же году отправился в США на Международный конгресс по болезням хлебов, где детально ознакомился с генетическими и сельскохозяйственными опытными учреждениями США, Канады, Англии, Германии, Дании, Голландии и Швеции. Прекрасная речь, обширные знания и удивительное обаяние молодого ученого произвели сильное впечатление на американцев и европейцев. Завязались профессиональные контакты и многолетние дружеские отношения с виднейшими исследователями, открылись двери многих научных учреждений.

В Петрограде Николая Ивановича назначили на должность заведующего Бюро по прикладной ботанике, а также избрали товарищем председателя Совета Государственного института опытной агрономии. Но уже в 1923 г. он — руководитель упомянутого Совета, а год спустя утвержден в должности директора Всесоюзного института прикладной ботаники и новых культур, после 1930 г. преобразованного во Всесоюзный институт растениеводства (Ленинград, ныне Санкт-Петербург)\*\*.

\*Вильморен — семья французских селекционеров (прим. ред.).

\*\*См.: В. Драгавцев. «Желание служить общему благу». — Наука в России, 2003, № 3 (прим. ред.).

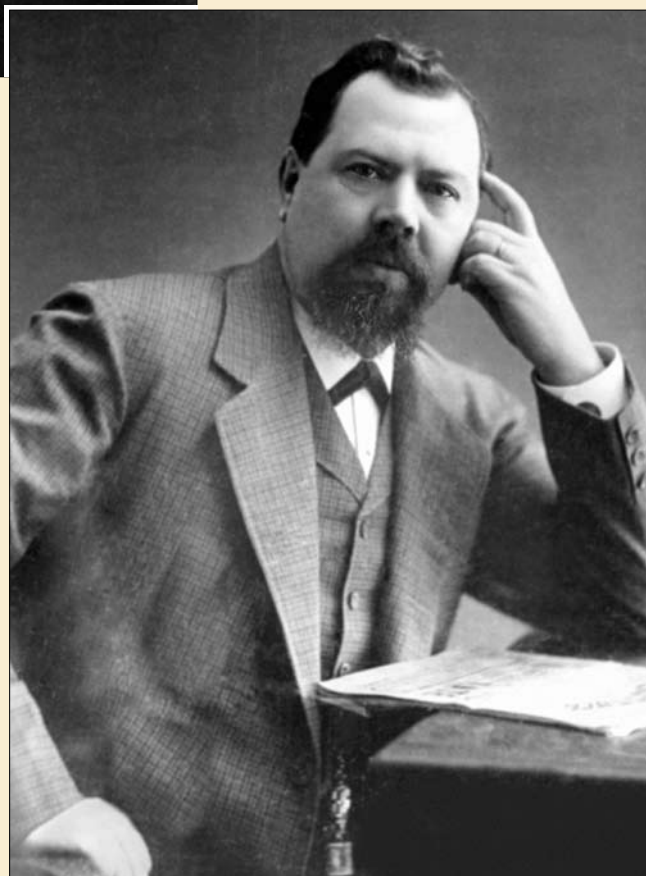


Научный авторитет ученого рос. За работу по иммунитету и происхождению культурных растений ему была присуждена премия им. Ленина в год ее основания — 1926 г. (Среди первых пяти лауреатов был и любимый учитель Николая Вавилова Дмитрий Прянишников, который одним из первых отметил гениальность своего ученика и остался верен ему в самые трагические дни). В 1929 г. 40-летнего Вавилова избрали действительным членом АН СССР, и в том же году он стал первым президентом Всесоюзной сельскохозяйственной академии им. Ленина (ВАСХНИЛ). Кроме того, он возглавил первую Лабораторию генетики в системе АН СССР, организованную в 1930 г. выдающимся биологом Юрием Филипченко, основателем первой в России кафедры генетики в Ленинградском государственном университете. Эту лабораторию Вавилов стремился превратить в научный центр мирового уровня, и его усилиями в 1933 г. она преобразована в Институт генетики АН СССР, куда были приглашены известные американские генетики Келвин Бриджес и Герман Меллер (будущий нобелевский лауреат по физиологии и медицине 1946 г.), а также болгарский генетик Дончо Костов.



Сергей (слева) и Николай Вавиловы  
с мамой. 25 декабря 1916 г.

Иван Ильич Вавилов.



Начиная с 1921–1932 гг., с целью изучения растительных ресурсов мира Вавилов организует экспедиции в более чем 50 стран четырех континентов (кроме Австралии и Антарктиды), часто в труднодоступные горные районы. В результате ему с коллегами удалось собрать уникальную живую коллекцию культурных растений. В 1931 г. Николай Иванович как выдающийся путешественник был удостоен великой чести избрания президентом Русского географического общества и сделал все, чтобы вернуть ему прежний высокий авторитет (конца XIX — начала XX в.), когда там трудились знаменитые предшественники. Портрет ученого до сих пор украшает парадную лестницу Географического общества наряду с изображениями русского мореплавателя, исследователя Арктики, президента АН (1864–1882 гг.) Федора Литке; путешественника, натуралиста, почетного члена АН (с 1878 г.) Николая Пржевальского; русского географа, ботаника, почетного члена Императорской АН (с 1873 г.) Петра Семенова-Тян-Шанского, русского и советского океанографа и картографа, почетного члена АН СССР (с 1939 г.) Юрия Шокальского. После экспедиции в Афганистан Николаю Ивановичу присудили золотую медаль Н.М. Пржевальского «За географический подвиг».

Но в середине 1930-х в СССР начались дискуссии по проблемам генетики и селекции, поддержанные руководством страны и имевшие политический подтекст. Тогда же Вавилова освободили с поста президента ВАСХНИЛ (его место занял академик Трофим Лысенко). Затем началось преследование ученых, не желавших поступить своей профессиональной честью. Николай Иванович был арестован в августе 1940 г. и 9 июля 1941 г. как «враг народа» приговорен к высшей мере наказания. Позже расстрел заменили двадцатью

годами лишения свободы. 26 января 1943 г. Вавилов умер от истощения в тюрьме г. Саратова. Похоронен на Воскресенском городском кладбище в общей могиле, местонахождение ее не известно. Находясь в тюрьме, ученый по памяти написал свою последнюю книгу «История мирового земледелия». Рукопись пока не найдена. Остается надеяться, что «рукописи не горят».



**Николай Вавилов, Томас Хант Морган,  
Николай Тимофеев-Ресовский  
на Генетическом конгрессе в Итаке, США. 1932 г.**

В 1955 г. Военная коллегия Верховного суда СССР отменила судебный приговор от 9 июля 1941 г. и прекратила дело в отношении Николая Вавилова за отсутствием состава преступления. Ученый был реабилитирован.

## ЦЕЛЬ ЖИЗНИ

Все в жизни Вавилова было подчинено главному — лишь только поступив в институт, он написал в дневнике: «Хочу страстно науки. Люблю ее. В ней цель жизни. В ней одной можно испытывать энтузиазм. Верую в ее будущее». Столь же самозабвенной была его любовь к литературе, зародившаяся еще в детстве. Читал он ежедневно до конца жизни — везде и непостижимо много! Огромный портфель Николая Ивановича всегда распухал от книг, поскольку круг его интересов был огромен и разнообразен: кроме новинок периодических изданий ученый зачитывался классическими художественными произведениями. Его очаровывала восточная поэзия, особенно часто он цитировал персидского поэта и философа Омара Хайяма. Увлечение Востоком оказалось настолько сильным, что одно время Николай Иванович подумывал заняться его историей и археологией.

Ну а что касается знания биологической литературы — тут ему не было равных. Вавилов всегда оказывался в курсе новинок по ботанике, физиологии, генетике, систематике, селекции и другим сопредельным наукам. Владея всеми европейскими языками, он следил за последними поступлениями из-за рубежа. «Прежде чем начинать исследование, — часто повторял Николай Иванович, — нужно знать, что сделано в этом отношении на глобусе». Коллег поражали его начитанность и память. О нем ходили легенды, ведь он не проглядывал книгу, а читал ее насквозь, выбирая самое главное и запоминая навсегда.

Вавилов побывал в лучших библиотеках мира. Им ученый всегда уделял особое внимание и как читатель, и как организатор: с создания книжных фондов начиналась деятельность всех коллективов, которыми он руководил. Особой его гордостью была богатейшая библиотека Всесоюзного института растениеводства с уникальным комплексно-системным каталогом. Сам Николай Иванович принимал активнейшее участие в ее создании, присылая из экспедиций тысячи книг и журналов.

С благоговением относился ученый к древним книгам и документам, в Великобритании с трепетом читал книги великого английского натуралиста, основателя теории биологической эволюции Чарльза Дарвина, его записные книжки и рукописи. Николай Иванович буквально гонялся за библиографической редкостью, пусть даже дорогостоящей, если она нужна была для работы. Удивителен такой случай: он получил в подарок редкую книгу, хранившуюся в семье испанского священника и юриста XVI в. Ла Гаска. В



сопроводительном письме говорилось, что единственный экземпляр уникального издания передают ему в надежде на то, что это послужит прогрессу науки и еще больше прославит имя знаменитого предка. И надо сказать, Вавилов продолжил прекрасную традицию русской профессуры: его собственная библиотека была открыта для всех желающих.

Одаренность Николая Ивановича и склонность к самостоятельному мышлению отмечали еще в Коммерческом училище. Яркое выраженное призвание студента к науке заметили и его институтские учителя. Сам он тоже осознал это достаточно рано, его профессиональные интересы определились почти сразу: изучение культурных растений и их диких сородичей. Основными направлениями исследований Вавилова были генетика, иммунитет растений, систематика, география, происхождение и история земледелия. Этим он занимался на протяжении всей своей жизни, считая главной своей задачей борьбу с голодом на планете.

Николаю Ивановичу принадлежат классические теоретические обобщения: закон гомологических рядов в наследственной изменчивости, теория имму-

нитета растений, учение о центрах происхождения культурных растений, учение о линеенском виде\* как системе. За всю жизнь он написал более 300 научных работ.

Уникальные способности Вавилова и «умение видеть общее, единое, закономерное среди миллионов разрозненных и, казалось бы, совершенно непохожих явлений природы», как отмечал выдающийся отечественный биолог Николай Тимофеев-Ресовский, помогло не потонуть в океане фактов и сформулировать в 33 года первое фундаментальное общебиологическое обобщение — закон гомологических рядов. «В эволюционном развитии живых организмов нет хаоса, и, несмотря на поразительное разнообразие форм, изменчивость укладывается в определенные закономерности», — отмечал Вавилов. Коллеги сразу же сравнили этот Закон с Периодической системой элементов Д.И. Менделеева, ибо он позволил систематизировать разнообразие уже существующих в природе видов растений и предсказывать возникновение новых.

Проблему устойчивости культур к инфекциям Николай Иванович выделял как одну из важнейших в растениеводстве. Его исследования основательны и оригинальны. Он впервые открыл существование форм с комплексным иммунитетом к нескольким грибковым заболеваниям. Впервые подошел к этим свойствам растений как к систематическим показателям, а иммунитет рассмотрел с географической точки зрения, обнаружив связь между происхождением вида, сорта и его восприимчивостью к болезням.

Изучение закономерностей изменчивости и многообразия растительных форм подвело Вавилова к вопросу об их географическом распространении и локализации культурных растений. Тогда он и организовал многочисленные экспедиции в районы, где «зарождалась и творилась великая земледельческая культура». Николай Иванович установил основные очаги происхождения культурной флоры, впервые показал первостепенную роль горных районов, тогда как раньше приоритет в формировании растительного мира отдавали долинам больших рек.

Основываясь на теории центров происхождения культурных растений, ученый собрал коллекцию мировых растительных ресурсов, являющуюся ныне нашим национальным достоянием.

Вавилов был равновелик как ученый и организатор науки. При его участии создана система сельскохозяйственной науки в СССР. Первый президент ВАСХНИЛ, он создал крупнейший научный центр — всемирно известный ВИР (ныне Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова), разветвленную сеть зональных опытных станций и опорных пунктов.

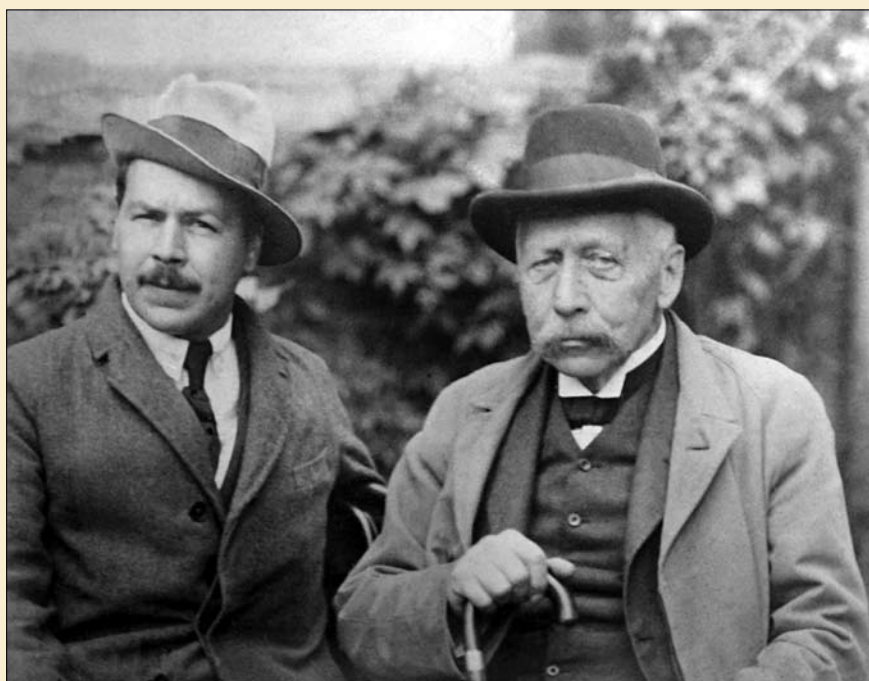
\*Карл Линней (1707–1778) — шведский естествоиспытатель и врач, создатель единой системы классификации растительного и животного мира. Одна из главных его заслуг — четкое определение понятия биологического вида. Вавилов в своей работе «Линнеевский вид как система» (1931 г.) показал, что вид состоит из соподчиненных элементарных единиц (*прим. ред.*).











**Николай Вавилов  
и Уильям Бэтсон.  
Москва. 1925 г.**

**Открытка с изображением  
Библиотеки Конгресса,  
присланная Н. И. Вавиловым  
из командировки в США  
и подписанная его рукой.  
Вашингтон. 1921 г.**



Обладая феноменальной работоспособностью, будучи человеком творческим, настоящим энтузиастом своего дела, Николай Иванович успевал заниматься еще и общественной деятельностью: был членом Центрального Исполнительного Комитета (ЦИК) СССР, членом ВЦИК, депутатом Ленинградского городского Совета депутатов трудящихся, председателем совета ленинградского Дома ученых, председателем Ленинградского отделения Всесоюзной организации работников науки и техники для содействия соцстроительству в СССР. Его избирали членом Главного выставочного комитета Всесоюзной сельскохозяйственной выставки, он читал лекции и выступал с докладами.

Большой общественный интерес вызывали газетные и журнальные статьи Вавилова о проблемах растениеводства, генетики, селекции и, конечно, публикации о путешествиях в дальние страны.

Избрание Николая Вавилова членом многих зарубежных научных обществ и организаций — еще одно свидетельство его огромного авторитета в мире: иностранный член Английского королевского общества, Линнеевского общества в Лондоне, Эдинбургского королевского общества, Научного совета Международного агрономического института в Риме, Британского общества садоводства — и это далеко не полный перечень.



**Выступление Николая Вавилова на заседании АН.  
Таврический дворец. Ленинград. 19–21 апреля 1932 г.**



**Оранжереи Института генетики АН СССР.**





Вырезка из газеты  
с фотографиями  
и статьей о работе  
Института генетики  
АН СССР. Февраль 1940 г.



Н. Вавилов с коллегами  
на опытном участке  
рядом с теплицами  
Института генетики РАН.

В заключение хочется привести слова ученого-физика Никиты Толстого\* из выступления на вечере «Братья Николай и Сергей Вавиловы» (1989 г.): «Естествоиспытатель — это человек, который не только ставит в центр своей жизни науку, а образует вокруг себя некое нравственное пространство, в котором происхо-

\*Никита Алексеевич Толстой — доктор физико-математических наук, профессор Ленинградского государственного университета, сын знаменитого советского писателя XX в. Алексея Толстого (прим. авт.).

дят замечательные процессы — организация людей вокруг интеллектуальной, т.е. духовной деятельности, сопряжение идей науки с идеями искусства и общей человеческой культуры, организаторская работа, обучение молодежи». Академик Николай Вавилов отвечал этому определению полностью — он создал вокруг себя мощное поле личного тяготения.

Иллюстрации предоставлены автором



# КОЛЛЕГИ О НИКОЛАЕ ИВАНОВИЧЕ ВАВИЛОВЕ



**Дмитрий Прянишников, агрохимик, физиолог растений, академик АН СССР (1929 г.) и ВАСХНИЛ (1935 г.), член Шведской королевской академии (1913 г.), член-корреспондент Парижской академии наук (1946 г.):**

«Николай Иванович — гений, и мы это не сознаем только потому, что он наш современник».

**Сергей Букасов, селекционер, доктор биологических и сельскохозяйственных наук, академик ВАСХНИЛ (1956 г.):**

«Выдающийся систематик и географ, он организовал планомерное создание коллекций исходного материала по всем сельскохозяйственным культурам... По значению и разносторонности научной



**Н.И. Вавилов. Рим. 1927 г.**

деятельности его имя стоит в одном ряду с именами Дарвина, Декандоля, Гумбольдта и Линнея».

**Хуго де Фриз, голландский ботаник, один из основоположников генетики, иностранный почетный член АН СССР (1913 г.)**  
(из поздравления Н.И. Вавилову в связи с 25-летием его научной деятельности, 1935 г.):

«По моему мнению, работа, проделанная Вами и Вашим институтом, является самым важным памятником для применения науки к сельскому хозяйству в течение этого столетия».

**Николай Тимофеев-Ресовский (1900–1981), выдающийся русский биолог, генетик:**

«Он мастер синтеза, человек, способный удержать в памяти, осмыслить и расположить в стройной сис-

теме несчетное число больших и малых, собственных и чужих наблюдений. Закон гомологических рядов и теория центров происхождения культурных растений не могли появиться на свет, не обладай их творец даром Эмпирического обобщения».

**Константин Пангало, доктор биологических наук, заслуженный деятель науки Молдавской ССР:**

«Свои книги и статьи он писал, как художник, крупными мазками... И я не ошибусь, если скажу, что в душе каждого биолога, каждого агронома, прочитавшего то или иное из произведений Николая Ивановича, несомненно, рождалось желание так или иначе приобщиться к подобным исследованиям».

«Работая так, Николай Иванович вел за собой других не силой приказа, а своим обаянием, которому невозможно было противиться...»

«Наука в высшем проявлении ее переходит в искусство», — писал художник П.П. Чистяков, учитель Репина, Врубеля, Поленова и других корифеев нашей живописи. И он совершенно прав. Вавилов был не только глубоким, проникновенным ученым широкого масштаба, но и истинным поэтом в науке, воспринимавшим развертывающиеся перед ним явления не только со стороны причинности, цели, но и со стороны величия, гармонии и красоты».

**Дмитрий Лихачев,**  
литературовед, текстолог,  
академик АН СССР (1970 г.)  
(из рецензии на книгу Н.И. Вавилова  
«Пять континентов»):

«Самый волнующий, выпуклый и «художественно» выписанный образ положительного человека в «Пяти континентах» — это возникающий невольно, помимо нашего желания или скрытых намерений автора книги, образ Николая Ивановича Вавилова. Самого обаятельного, самого умного и самого талантливого учёного, с которым мне приходилось знакомиться лично или только по книгам и трудам».

**Лидия Бреславец (1882–1967),**  
цитолог и цитогенетик,  
доктор биологических наук:

«Почти все без исключения сотрудники [ВИРа] беспрекословно и с радостью выполняли его указания, так всегда умны, просты и интересны были его предложения... Председательствуя на собраниях и научных заседаниях, он никогда не прерывал докладчика (правда, иногда меткими замечаниями он исправлял его), никогда не мешал прениям, наоборот, тщательно их поощрял, так что самые робкие сотрудники всегда успевали сказать свое слово. Необычайно действовало на говорящих и то внимание, с которым он выслушивал всех.

Для Николая Ивановича не существовало никаких различий по занимаемому положению. Он всех звал по имени и отчеству, даже если сотруднику было 14–15 лет... Я никогда не видела, чтобы он ошибся или перепутал имена, никогда не видела, чтобы изменилось выражение его лица — здоровался ли он с начинающими сотрудниками или с маститыми учеными...

Кажется, не было никого счастливее его, когда он своими руками проводил скрещивание или измерял растения. Точность его подсчетов делала его в наших глазах настоящим волшебником... Поражали его необычайная начитанность и память... Николай Иванович работал всегда, не признавая никакого отдыха. Знания его были огромны».

**Николай Кулешов, растениевод,**  
академик АН УССР (1951 г.):

«Настоящую свою работу Николай Иванович начинал после конца рабочего дня. Как ни странно, прошедшие часы его не утомляли, и полный энергии, он усаживался в кресло, склоняясь над рукописью, книгой или картой. Пустел институт, уходили посетители, а он, увлеченный работой, сидел допоздна».

**Сидней Харланд (1891–1982),**  
американский генетик:

«В процессе развития методов мы забываем, как ставить фундаментальные вопросы. Наш век — век больших знаний и малой мудрости. Вавилов знал, как ставить вопросы.

Я был другом Вавилова».

**Герман Меллер, американский генетик,**  
нобелевский лауреат  
по физиологии и медицине 1946 г.:

«Вавилов был поистине великим в самых разнообразных проявлениях — как ученый, как администратор, как человек. В противоположность некоторым исключительным личностям он был полным экстравертом, притом без малейшего чувства неполноценности или боязни преследования, но и без чувства превосходства в качестве их компенсации. Он целиком отдавался своему служению, своей работе, разрешению проблем, научному анализу и синтезу, наблюдению и эстетическому восприятию. Обладая глубокими и широкими познаниями, он был при этом более жизнелюбивым и жизнеутверждающим, чем кто-либо, кого я когда-либо знал. И его усилия так же, как и пример его жизни, поистине не пропали даром».



# АВТОМАТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ НА СЛУЖБЕ НАУКИ

---

Доктор технических наук Владимир ЕФАНОВ,  
заместитель руководителя ОКБ по науке,  
кандидат технических наук Максим МАРТЫНОВ,  
заместитель генерального конструктора, руководитель ОКБ,  
доктор технических наук Константин ПИЧХАДЗЕ,  
первый заместитель генерального конструктора  
и генерального директора Научно-производственного  
объединения им. С.А. Лавочкина (Москва)

---

**В 2012 г. исполняется 75 лет  
Ордена Ленина и двух орденов Трудового Красного Знамени  
Научно-производственному объединению  
им. С.А. Лавочкина — ведущему предприятию (с 1965 г.)  
ракетно-космической отрасли России  
по созданию автоматических космических аппаратов  
для фундаментальных научных исследований.**

**Н**аше учреждение (кстати, бывшая мебельная фабрика) в 1937 г. решением Совета Труда и Обороны СССР было перепрофилировано на изготовление самолетов. Из цехов этого нового авиационного завода выходили винтомоторные истребители Лагг-3, Ла-5, Ла-7 (последний был признан лучшим отечественным истребителем Второй мировой войны).

С 1945 г. ОКБ С.А. Лавочкина приступило к проектированию и постройке истребителей с реактивными

двигателями. Их создавали на значительно более широкой научно-экспериментальной базе, с привлечением ведущих советских институтов авиационной промышленности — Центрального аэрогидродинамического института им. Н.Е. Жуковского, Летно-исследовательского института им. М.М. Громова, Центрального института авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, Всесоюзного института авиационных материалов, Национального института авиационных технологий и др. Творческое сотрудни-



**Истребитель Ла-7.**

чество с ними продолжается и поныне. Руководитель нашего предприятия, замечательный конструктор Семен Лавочкин (член-корреспондент АН СССР с 1958 г.) развернул специализированные лаборатории: статических испытаний, гидропневматическую, бортового оборудования, моторную, технологическую и др. Они образовали хорошо оснащенную наземную экспериментальную базу. Было модернизировано и само производство.

В результате в 1947 г. в СССР появился экспериментальный истребитель со стреловидным крылом Ла-160, затем реактивный Ла-15, потом самолет большой стреловидности Ла-176 — на нем впервые в нашей стране была достигнута скорость звука, Ла-250 («Анаконда») — истребитель, оснащенный ракетами класса «воздух-воздух» с головками самонаведения. В середине 1950-х годов здесь же сконструировали и построили беспилотные самолеты-мишени Ла-17, а также фоторазведчики.

С 1950 г. предприятие, продолжая строить самолеты, развернуло ракетную тематику. Постановлением правительства ОКБ С.А. Лавочкина поручили разработку зенитной управляемой ракеты С-25 («Беркут») системы ПВО Москвы — она появилась в короткие сроки и была передана на вооружение Советской Армии. В 1957 г. инженерам ОКБ первым в мире удалось создать гиперзвуковую межконтинентальную стратегическую крылатую ракету «Буря» с прямоточным воздушно-реактивным двигателем для доставки ядерной головной части на большое расстояние.

Работы в области ракетостроения стали мощным стимулом для развития нашего ОКБ. Оно пополнилось специалистами по бортовым автоматическим системам управления. Сформировались новые отделы: динамики полета, систем управления, радиосистем, математического моделирования и имитации экстремальных реальных условий полета при наземной экспериментальной отработке.

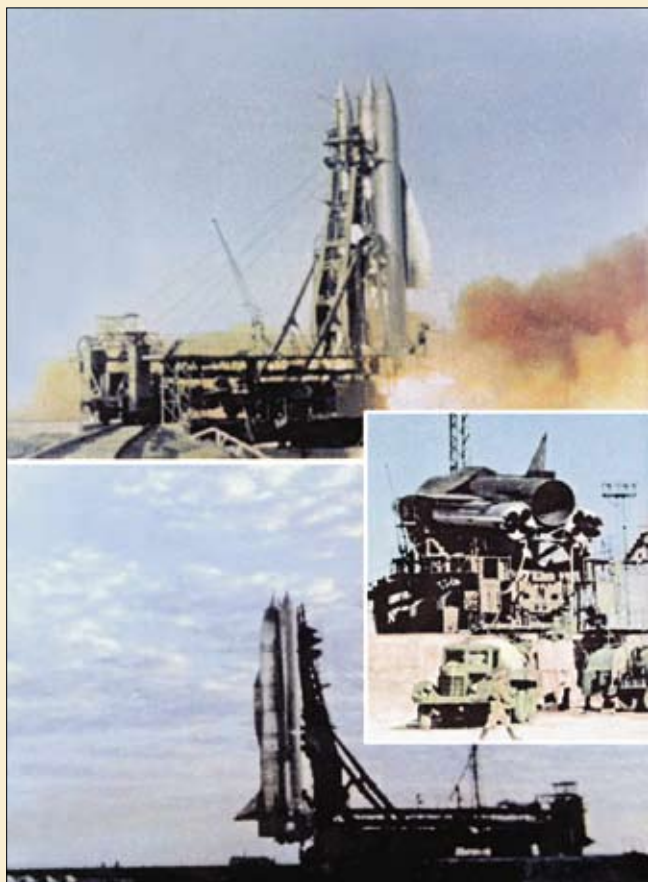
Проектные решения, заложенные в названные и другие разработки, предопределили совершенство конструкции летательных аппаратов и высокий уровень научной школы Лавочкина, создали предпосылки для передачи в 1965 г. ОКБ-1 (ныне ОАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева)\* нам тематики по созданию автоматических космических аппаратов (КА) для исследования Луны и планет Солнечной системы. Главным конструктором предприятия в середине 1960-х годов назначили Георгия Бабакина\*\* (член-корреспондент АН СССР с 1970 г.). С его именем связана наиболее яркая страница в истории освоения космоса с помощью автоматических станций.

В феврале 1966 г. был запущен созданный нами с ОКБ-1 космический аппарат «Луна-9», совершивший впервые в мире мягкую посадку на Луну. Он передал на Землю круговые панорамы с места прилунения, позволившие определить размеры и формы впадин и камней. Окончательно удалось установить, что предполагаемого многометрового слоя пыли на нашем естественном спутнике не существует. Затем последовали запуски целой серии искусственных спутников Луны. Они базировались на космической платформе, разработанной в ОКБ-1, а в качестве ракетоносителя использовалась «Молния». Затем появление мощной ракеты «Протон» (УР-500 К) позволило перейти к постройке более современных автоматических лунных станций, открывших новые возможности для решения научных задач.

В этот период нами была создана новая космическая лунная платформа, а на ее основе — следующее поколение лунных роботов. Аппараты строили по модульному принципу, в их состав входили орбитально-посадочный блок и научный комплекс, меняв-

\*См.: Н. Королева. Имя его и космос — неразделимы. — Наука в России, 2007, № 1 (прим. ред.).

\*\*См.: Ю. Марков. Главный конструктор межпланетных станций. — Наука в России, 2004, № 6 (прим. ред.).



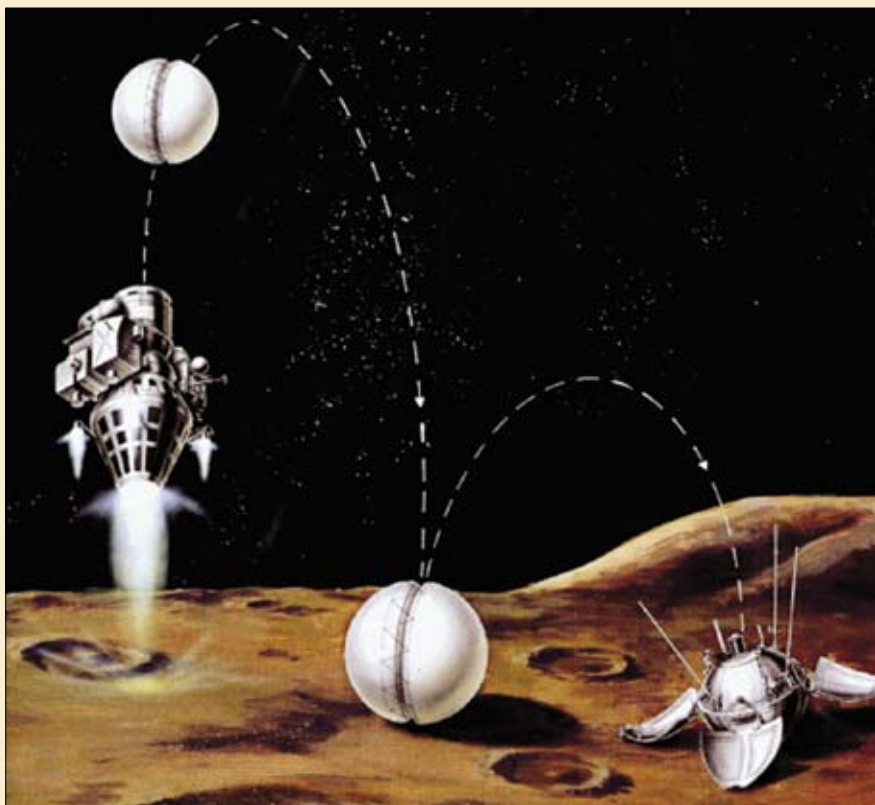
Ракета «Буря».

шийся в зависимости от задачи: у искусственных спутников — приборы для дистанционного исследования Луны, для доставки ее грунта на Землю — взлетная ракета, для доставки на Луну мобильной исследовательской лаборатории — «Луноходы».

Следует отметить, что в миссиях «Луна-16» (1970 г.), «Луна-20» (1972 г.) и «Луна-24» (1976 г.) по доставке образцов грунта с этого небесного тела специалисты Института прикладной математики АН СССР (ныне Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН) оригинально решили баллистическую задачу попадания спускаемого аппарата в определенную точку возврата без проведения коррекции орбиты перелета к Земле. КА «Луна-17» (1970 г.) и «Луна-21» (1973 г.) доставили на Луну мобильные лаборатории соответственно «Луноход-1» и «Луноход-2».

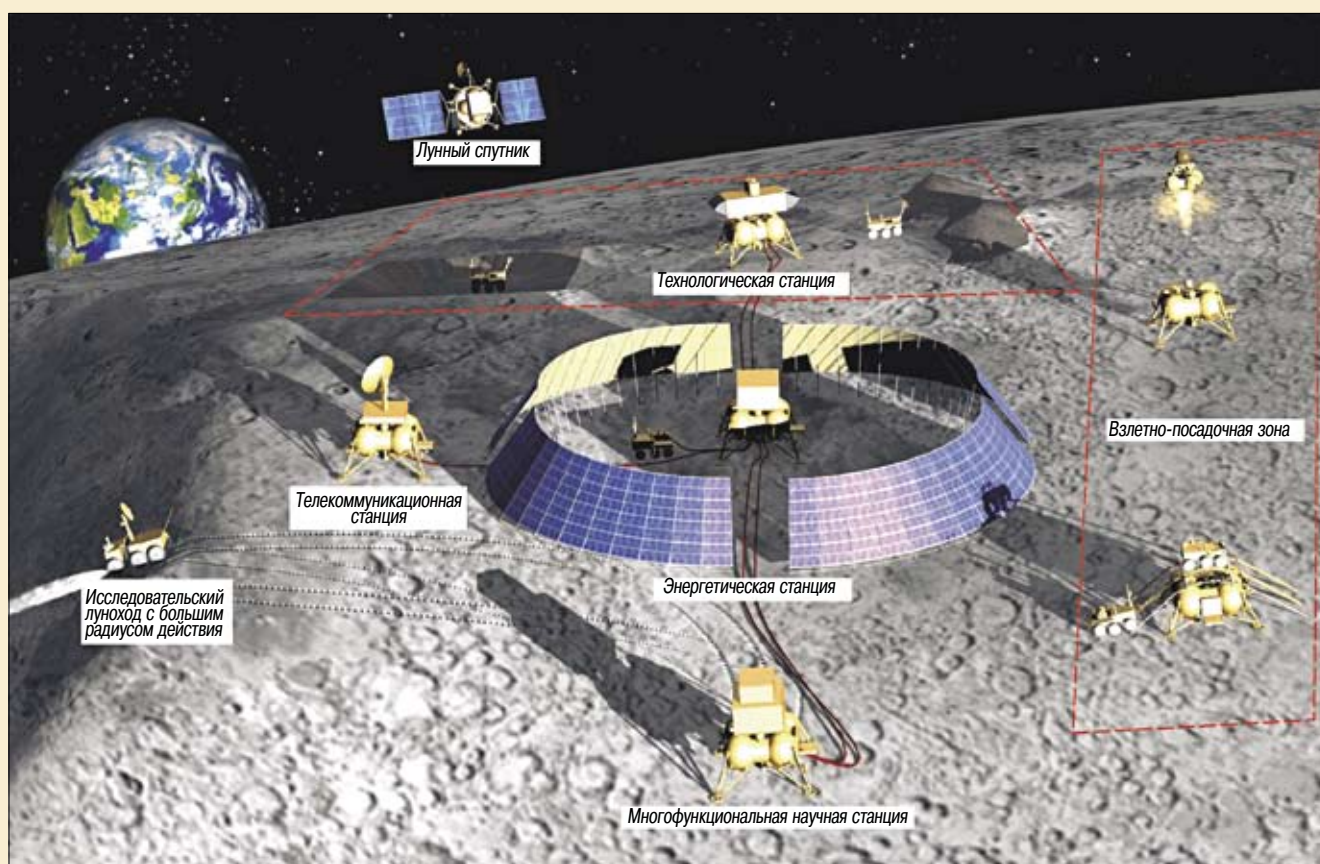
В настоящее время все ведущие космические державы вносят в свои перспективные проекты углубленное исследование Луны. Мотивируется это как целесообразностью изысканий по освоению ее ресурсов, так и возможностью в долгосрочной перспективе постройки там баз, функционирующих сначала в автоматическом режиме, а затем — при условии периодического посещения космонавтами — для проведения, в частности, технологических, ремонтных и других работ.

Но наибольший интерес для пристального изучения представляют полярные области Луны, где обнаружены признаки присутствия водяного льда и различных летучих веществ. А кислород и водород,



«Луна-9».





**Гипотетическая лунная база.**

полученные из воды, возможно, обеспечат жизнедеятельность будущих баз. На основе этих химических элементов можно будет создавать топливо для полетов с Луны на другие планеты Солнечной системы. Ученые заинтересованы в постройке на нашем естественном спутнике астрофизических и астрономических обсерваторий, так как тогда удастся исключить влияние различных физических полей Земли на процесс исследований.

В настоящее время НПО им. С.А. Лавочкина разрабатывает серию новых автоматических КА «Луна-Ресурс» и «Луна-Глоб»\*. Последний проект предполагает детальное изучение экзосферы и поверхности этого космического тела как дистанционно с орбиты его искусственного спутника, так и контактными методами на поверхности. Планируется провести не только фундаментальные исследования Луны как малого небесного тела, но и астрофизические наблюдения — частиц высоких энергий и др. Поэтому в состав научной аппаратуры КА войдет астрофизический радиоволновой детектор «ЛОРД». Он будет решать отдельную уникальную научную задачу — изучение космических лучей и нейтрино сверхвысоких энергий (более  $10^{19}$  эВ).

\*См.: В. Ефанов, М. Мартынов, К. Пичхадзе. Космические роботы для научных исследований. — Наука в России, 2012, № 1 (прим. ред.).

А в проекте «Луна-Ресурс» запланированы изыскания на поверхности южного полюса Луны, в том числе с помощью луноходов, и кроме того — глубинное бурение и последующую доставку на Землю полученных наиболее интересных образцов.

Помимо перечисленных автоматических лунных КА достаточно успешными были созданные в нашем научно-производственном объединении аппараты для изучения Венеры — в свое время мы с их помощью завоевали все мировые соответствующие приоритеты. Так, в 1972 г. был запущен КА «Венера-8», впервые в мире осуществивший мягкую посадку на эту планету. Во время его приближения к венерианской поверхности на Землю передавались данные о ее температуре и давлении, скорости ветра, составе атмосферы и уровне освещенности. А после посадки проводились измерения состава пород по гамма-излучению. В 1975 г. со спускаемого аппарата следующего поколения «Венера-9» было получено изображение поверхности планеты, в 1983 г. радиолокатором «Венеры-15» — карта значительной части ее поверхности. Затем, в 1984 г. были запущены КА «Вега-1, -2», которые, доставив посадочные аппараты на поверхность и аэростатные зонды в атмосферу Венеры, продолжили полет к комете Галлея и передали на Землю изображения ее ядра. В настоящее время мы ведем проработку проекта по созданию нового КА для долговременного изучения Венеры.



«Фобос-1».

«Венера-15».

Вместе с тем наши специалисты построили шесть космических аппаратов для исследования Марса\*. «Марс-3» в 1971 г. впервые осуществил мягкую посадку на Красную планету. Затем были созданы и запущены «Фобос-1» и «Фобос-2».

Нами ведется проработка национальных проектов КА «Фобос-Грунт-2» и «Марс-Грунт», предполагающих доставку на Землю соответствующих образцов с этих космических тел. В приоритетном порядке реализуем работы по международному европейскому проекту «ЭкзоМарс», предусматривающему исследование планеты и околомарсианского пространства дистанционными и контактными методами.

Предприятие активно участвует в постройке орбитальных астрономических и астрофизических обсерваторий. Например, в 1983 г. был запущен «Астрон», проработавший на орбите около шести лет, а в 1989 г. — «Гранат», «трудившийся» почти десять лет.

Позднее нами была создана и летом 2011 г. запущена астрофизическая космическая обсерватория «Спектр-Р» («Радиоастрон»): она проводит исследования Вселенной в радиодиапазоне электромагнитного излучения, образуя вместе с наземными радиотелескопами научный прибор с базой до 350 000 км, обеспечивающий не достигавшееся ранее угловое разрешение в процессе наблюдений. Также в НПО строят КА «Спектр-РГ» и «Спектр-УФ» для изучения Вселенной в рентген- и гамма-, а также ультрафиоле-

товом диапазонах электромагнитного излучения соответственно. Все эти обсерватории (их запуск планируется на ближайшие годы) базируются на новой орбитальной платформе «Навигатор», успешно прошедшей летные испытания в 2011 г. в составе КА «Спектр-Р».

Важное место в фундаментальных космических научных исследованиях, имеющих и существенное прикладное значение, занимают программы изучения Солнца, физики космической плазмы, солнечно-земных связей и др. Так, к середине 1990-х годов с помощью наших КА серий «Прогноз» и «Интербол» удалось получить уникальные результаты. Причем, по мнению многих специалистов, такие работы требуют дальнейшего развития на новой проектно-технологической базе. Для этого создается космический комплекс «Резонанс». Он обеспечит достоверное знание параметров процессов распространения низкочастотных волн в магнитоактивной плазме магнитосферы Земли, механизмов резонансного взаимодействия волн и частиц в околоземном пространстве, контроль космических воздействий на магнитосферу планеты и др.

Для наблюдения за Солнцем с относительно близких расстояний (30–40 его радиусов) мы ведем проектно-проработку КА «Интергелиозонд». Он предназначен для изучения параметров излучения светила с использованием аппаратуры высокой чувствительности в оптическом, ультрафиолетовом, рентгеновском и гамма-диапазонах.

Фундаментальные космические научные исследования при участии НПО им. С.А. Лавочкина включают

\*См.: Э. Галимов. Перспективы планетоведения. — Наука в России, 2004, № 6; Он же: Российский проект «Фобос-Грунт». — Наука в России, 2006, № 1 (прим. ред.).



«Луна-Ресурс».



«Луна-Глоб».



«Спектр-РГ».



не только изучение Луны, Солнца, планет, малых тел Солнечной системы, но и галактик, звезд и межзвездного пространства. Особенности этих направлений обуславливают специфические требования не только к научной аппаратуре, но и к конструкции наших КА и их служебным системам. По мнению авторов данной статьи, для реализации первого направления целесообразно рассматривать проектно-конструкторский и технологический задел темы «Фобос-Грунт», а второго — универсальную прецизионную космическую орбитальную платформу «Навигатор».

Помимо этого у нас создаются малоразмерные КА на базе унифицированной орбитальной платформы «Карат». В настоящее время готовится к запуску КА «Зонд-ПП». В планах на ближайшие годы — запуск еще четырех малоразмерных аналогичных конструкций по заказу институтов РАН.

Словом, в год 75-летия нашего предприятия мы смотрим в будущее с осторожным, но оптимизмом, основываясь на приведенных выше предложениях.

*Иллюстрации предоставлены авторами*



# САМОЛЕТ-ЛАБОРАТОРИЯ «ОПТИК»

**В** Новосибирске на базе самолета Ту-134 создана летающая лаборатория «Оптик», способная сканировать воздушное пространство и водоемы. Она будет осуществлять дистанционное зондирование атмосферы, включая газы, взвешенные вещества, облака, промышленные загрязнения, продукты аварий. «Аналогов ей в России нет, она включена в перечень уникальных установок Министерства образования и науки РФ, а по базовым характеристикам соответствует лучшим американским образцам», — сообщил в интервью газете «Наука в Сибири» куратор проекта, заместитель директора Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г. Томск), доктор физико-математических наук Борис Белан.

Переоборудовали летательный аппарат всего за два месяца, подчеркнул ученый, благодаря тесной кооперации заказчика с Государственным научным центром вирусологии и биотехнологии «Вектор» (г. Кольцово Новосибирской области), Институтом химической кинетики и горения СО РАН и Сибирским научно-исследовательским институтом авиации им. С.А. Чаплыгина (г. Новосибирск). Сотрудники последнего разработали документы на самую сложную часть в герметичных машинах — заборники воздуха и изготовили их. В производстве участвовал также Опытный завод СО РАН (Новосибирск), по техническому заданию заказчика создающий металлоконструкции и нестандартное оборудование. Средства на переоснащение гражданского самолета выделило Сибирское отделение РАН (1,7 млн руб.), на протяжении многих лет поддерживающее экспедиционные затраты Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева, что позволило в трудные для науки 1990-е годы сохранить высококвалифицированный состав летной экспедиции, а сейчас обеспечить приток молодых кадров. Однако оплата дальнейших расходов по эксплуатации воздушного судна ложится на зарубежных партнеров из Франции и Японии, с которыми томики имеют соответствующие соглашения.

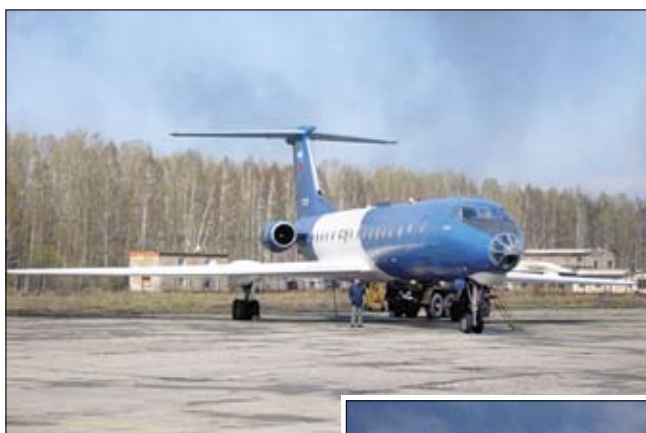
В состав лаборатории «Оптик», сообщил Белан, входят несколько комплексов: метео-, аэрозольный

(фотоэлектрический счетчик, диффузионная батарея, нефелометр — прибор для измерения степени мутности жидкостей и газов по интенсивности рассеяния ими света со средствами термо- и гигрооптики, фильтроустановка), газоаналитический, спектрофото-радиометрический и навигационный, а также тепловизор, бортовая система регистрации, лидар «Макрель-2». С помощью такого набора средств можно оценить качество атмосферного воздуха и загрязнение подстилающей поверхности, включая водную (определять плотность и толщину пленки на водоемах, создавать карты замутненности в верхнем 30-метровом слое), а также изучать лесные массивы.

Ранее подобные исследования, заметил Белан, в том числе по международным программам, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева вел с 1997 г. с помощью лаборатории «Оптик-Э», сформированный на базе самолета Ан-30. Тогда в рамках Международной ассоциированной программы «Масштабные аэроблюдения Сибирского региона ЯК-АЭРОСИБ» специалисты России и Франции изучали парниковые и окисляющие атмосферу газы на территории от Новосибирска до Якутска, совершив в разные сезоны года несколько полетов, что позволило определить роль Сибири в глобальных изменениях климата.

К сожалению, отечественные потребители, признал Белан, слабо использовали уникальные возможности «Оптик-Э». Он назвал лишь три работы, выполненные в 2005–2011 гг. по заказам наших организаций: отслеживание остатков топлива третьей ступени ракеты «Протон» при ее падении в районе Телецкого озера (Республика Алтай), комплексную оценку состояния воздушного бассейна Норильского промышленного района и зондирование состава воздуха курортной зоны Черноморского побережья России.

Не случайно куратор нового проекта выразил надежду, что теперь суперсовременная лаборатория «Оптик» будет в полной мере использована Министерством чрезвычайных ситуаций РФ для контроля последствий природных катастроф, в том числе пожа-



**Самолет-лаборатория «Оптик»**  
базируется на аэродроме Новосибирского  
авиационного завода им. В.П. Чкалова.



**Детали оборудования**  
летающей лаборатории.



**В салоне самолета «Оптик».**

ров, съемки аварийных объектов, определения состава и объема опасных выбросов промышленными — для наводки на рыбные косяки, определения зон планктона, нефте- и газодобытчиками — для контроля состояния месторождений и утечек, работниками жилищно-коммунального хозяйства — для тепловизионной съемки территорий, измерения уровня загрязнения воздуха, прогноза распространения примесей.

Сегодня под пристальным вниманием специалистов находится Арктика, состояние ее окружающей среды. И «Оптик», по словам Белана, может стать важным элементом обеспечения экологической безопасности этого региона.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН планирует дальнейшее развитие приборной базы на лайнерах. «В этом году будет установлен самый точный на сегодня газоанализатор углекислого газа, метана и водяного пара. В следующем планируем установить микролидар CIMMEL и, если сможем приобрести, — масс-спектрометр и спектрофотометр», — сказал Б. Белан.

*Пустолякова Е. Уникальная лаборатория на... крыльях. — Газета «Наука в Сибири», 2012, № 18*

*Иллюстрации предоставлены Б. Беланом*

*Материал подготовила Марина ХАЛИЗЕВА*





Пелена (покрывало для украшения иконостаса),  
шитая золото-серебряными нитями и цветным шелком.  
Группа в левой части полотна — Иван III (в короне, с нимбом) с семьей.  
1498 г. (Троице-Сергиева лавра, Сергиев Посад).



# ПЕРВЫЙ «ГОСУДАРЬ ВСЕЯ РУСИ»

Кандидат исторических наук Валерий ПЕРХАВКО,  
Отделение историко-филологических наук РАН (Москва)

**В 2012 г. исполнилось 550 лет со дня вступления  
на престол великого князя Ивана III (1462–1505 гг.),  
главными итогами деятельности которого  
стали объединение вокруг Москвы значительной части  
русских земель и окончательное их освобождение  
от монголо-татарского ига.**

**Ш**ел октябрь 7014 г. от сотворения мира (1505 г. от Рождества Христова). В опочивальне деревянного кремлевского терема угасала жизнь старого полупарализованного человека. Неподалеку под руководством приглашенных им итальянских зодчих шло сооружение кирпичного дворца, но Ивану III уже не суждено было в него переехать. Последним актом его неустанных трудов, зафиксированным летописцами 21 мая 1505 г., было распоряжение разобрать в Московском Кремле старые Архангельский собор, церковь Иоанна Лествичника и заложить на их месте новые\*. Со строительных работ он начинал в 1462 г. свое пребывание на престоле, ими же завершал жизненный путь, возведя не только крепости и храмы, но и каркас единого русского государства.

## ДЕТСТВО И ОТРОЧЕСТВО

Иван, родившийся 22 января 1440 г., второй сын великого князя московского Василия II и его супруги

Марии (дочери удельного князя Ярослава Ярославича), в связи со смертью старшего брата стал преемником отца. Имя будущему «государю всея Руси» дали на пятый день его появления на свет в честь особо почитаемого на Руси святителя Иоанна Златоуста, а при крещении нарекли Тимофеем. Его детские годы совпали с самым драматическим этапом Междоусобной войны 1433–1453 гг. — борьбы за великое княжение между Василием II, князем звенигородским и галицким Юрием Дмитриевичем, сыновьями последнего Василием Косым и Дмитрием Шемякой.

В феврале 1446 г. Василий II с детьми и небольшой группой приближенных был на богомолье в Троице-Сергиевом монастыре\*. Приверженцы Дмитрия Шемяки схватили великого князя, увезли в Москву и затем ослепили (за что он получил прозвище «Темный»), в суматохе не вспомнив о находившихся в обители его сыновьях. Верные слуги Василия II ночью

\*См.: А. Николаева. Музеи Московского Кремля. — Наука в России, 2006, № 5; Т. Гейдор. Неподвластные времени. — Наука в России, 2009, № 1 (прим. ред.).

\*См.: В. Даркевич. Обитель преподобного Сергия. — Наука в России, 2000, № 2 (прим. ред.).



**Василий II Темный.**  
Миниатюра из «Царского титулярника». XVII в.

тайно увезли мальчиков в имение боярина Ивана Ряполовского под Юрьевом-Польским, а оттуда в Муром\*. Но Шемяка, занявший тогда на непродолжительное время московский престол, стремился избавиться от наследников своего политического противника и даже замыслил утопить их в реке, однако рязанский епископ Иона отговорил его от такого злодеяния и отвез малышей к отцу, томившемуся в заточении в Угличе\*\*.

Вскоре Василий Темный выехал в выделенную ему в удел Вологду, затем вместе с семьей и сторонниками перебрался в Тверь\*\*\*, а в начале 1447 г. вновь вернул себе престол в Москве, освобожденной отрядом боярина Михаила Борисовича Плещеева. Перипетии ожесточенной борьбы за власть не могли не наложить отпечаток на характер Ивана: в зрелые годы наряду с государственной мудростью, осмотрительностью, настойчивостью проявились такие его качества, как жестокость, коварство, подозрительность.

Лишившийся зрения отец часто привлекал сына к участию в важных делах. Так, уже в 1448 г. юного наследника престола можно было встретить в соста-

ве войска, двинувшегося против казанского хана Мамутека. А в летописном описании набега на Москву татарского царевича Мазовши в 1451 г. Ивана впервые титуловали «великим князем». Зимой следующего года на его долю выпало серьезное испытание — первый самостоятельный поход на реку Кокшеньгу (протекает по нынешним Архангельской и Вологодской областям), направленный против мятежного князя Дмитрия Шемяки.

В июне 1452 г. состоялось бракосочетание 12-летнего Ивана и Марии Тверской (через шесть лет у них появился первенец, Иван Молодой, проживший всего 32 года, которому не суждено было сменить отца на престоле, хотя и довелось стать его соправителем). В 1454 г. вместе с младшим братом Юрием он отправился с войском на Оку для защиты рубежей Московии от татарского царевича Салтана. Приобщаясь все больше к государственной деятельности, будущий «государь всея Руси» постепенно мужал и накапливал опыт. А в январе 1459 г. отец, отправляясь в непокорный Великий Новгород\*, возложил на плечи наследника заботу о столице.

### **БЛАГОСЛОВЕННЫЙ ВЕЛИКИМ КНЯЖЕНИЕМ**

В духовной грамоте Василия II, скончавшегося в марте 1462 г., было указано: «А сына своего старейшего, Ивана, благословляю своею вотчиною, великим княжением». Братья же престолонаследника (Юрий Дмитровский, Андрей Угличский, Борис Волоцкий, Андрей Вологодский) получили уделы, даже в совокупности уступавшие его владениям. Кроме того, уже в первые годы правления молодой государь присовокупил к ним Ярославское княжество, чуть позже — Ростов Великий\*\*, посадив там наместников.

В отличие от своих предшественников новому московскому правителю не пришлось ездить унижаться в Золотую Орду, чтобы получить ханский ярлык — жалованную грамоту — на великое княжение. Хотя, судя по косвенным данным, этот документ ему все же оттуда доставили: Русь еще находилась в зависимости от монголо-татарской империи, уже, впрочем, распадавшейся. Однако отношения с ее «осколками» (прежде всего с Казанским ханством и Большой Ордой) сильно тревожили Ивана III.

А в апреле 1467 г. гонец привез великому князю, находившемуся в Коломне\*\*\* в ожидании набега татар, печальную весть о безвременной кончине супруги — Марии Борисовны, тихой и доброй женщины, как подозревали, кем-то отравленной. В том же году началась война Москвы с Казанским ханством,

\*См.: О. Базанова. Родина Ильи Муромца. — Наука в России, 2009, № 6 (прим. ред.).

\*\*См.: О. Базанова. Город царевича Дмитрия. — Наука в России, 2008, № 4 (прим. ред.).

\*\*\*См.: О. Базанова. Меж двух столиц. — Наука в России, 2008, № 6 (прим. ред.).

\*См.: В. Даркевич. Вечевая республика на Волхове. — Наука в России, 1998, № 5 (прим. ред.).

\*\*См.: В. Даркевич. Чудо-град на озере Неро. — Наука в России, 1998, № 3 (прим. ред.).

\*\*\*См.: О. Базанова. Любимый город Дмитрия Донского. — Наука в России, 2010, № 4 (прим. ред.).

Иван III.  
Французская гравюра. 1575 г.

куда он направил большую «судовую рать» — пехоту, передвигавшуюся на речных судах. Противоборство завершилось через два года победой войска Ивана III, подписанием мира и возвращением домой русских людей, попавших в плен.

### ПОХОД НА ВЕЛИКИЙ НОВГОРОД

Тем временем в вечевом городе на Волхове все увереннее поднимала голову антимосковская группировка, возглавленная вдовой посадника (городского главы) Исаака Борецкого боярыней Марфой и их сыновьями. Лишь номинально признавая великокняжескую власть, эти представители местной аристократии стремились сохранить внутреннюю независимость, жить «по старине», выдвигая из своей среды правителей, и поглядывали в сторону Великого княжества Литовского и Польши, где города имели самоуправление и пользовались привилегиями. Поэтому, взяв курс на разрыв с Москвой, они в 1471 г. подготовили договор о своем переходе под власть польского короля и великого князя литовского Казимира IV, что, конечно, переполнило чашу терпения Ивана III.

Согласно разработанному великим князем стратегическому плану его войско нанесло два удара — в направлении непокорного города и по его северным владениям. Оба похода завершились успехом в июле 1471 г.: торговцы и ремесленники, составлявшие сформированное сепаратистами ополчение, не были обучены военному делу, да и не жаждали сражаться за интересы знати. Прибыв в Руссу (ныне районный центр Новгородской области), Иван III приказал казнить четырех захваченных бояр, в том числе сына Марфы Дмитрия Борецкого, с богатых плененных взял выкуп, а «мелких людей» велел отпустить по домам, рассчитывая в будущем на них опереться, затем торжественно возвратился в Москву.

### БРАК С ЗОЕЙ ПАЛЕОЛОГ

Через год после победы над Новгородом Иван III вторично женился. Его избранницей стала Зоя — дочь деспота (правителя) греческой провинции Мореи Фомы Палеолога, племянница последнего византийского императора Константина IX, после смерти отца проживавшая вместе с двумя братьями в Риме при папском дворе. Привезенный послами в Москву портрет невесты произвел приятное впечатление на жениха, но еще больше, чем внешность, — ее родословная.

Католическая же церковь, планируя этот брак, рассчитывала распространить свое влияние во владениях великого князя и привлечь его к активной борьбе с турецкой Османской империей, угрожавшей европейским государствам. Впрочем, надежды римского папы и его окружения оказались беспочвенными: Иван III порой прислушивался к советам жены-гречанки, скажем, приглашая итальянских зодчих и прочих мастеров, в остальном же ставил Софью



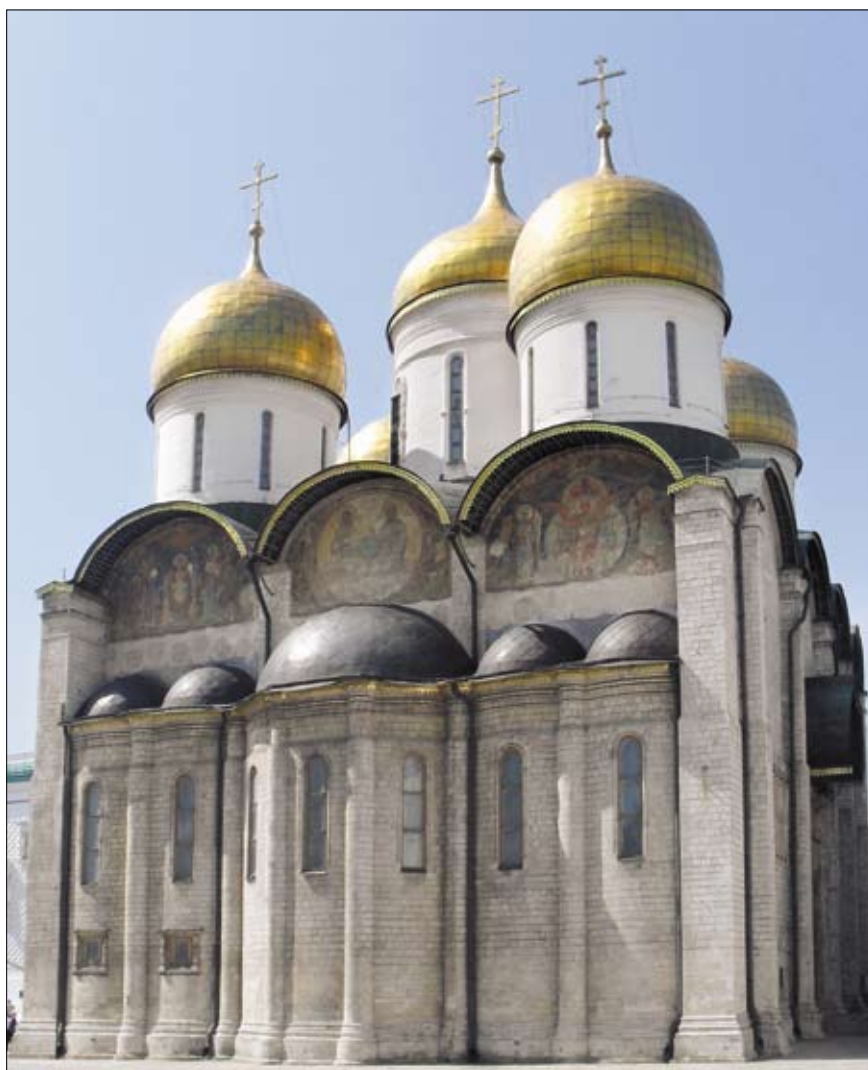
Фоминичну (как стали ее звать на второй родине) на подобающее место. За годы супружества у них появились пять дочерей и шесть сыновей, старший из которых, Василий, родившийся в 1479 г., стал после смерти отца государем и завершил присоединение к Москве крупнейших русских земель.

### ОКОНЧАТЕЛЬНОЕ ПОКОРЕНИЕ ВЕЛИКОГО НОВГОРОДА

В конце ноября 1477 г. полки Ивана III вновь окружили вечевой город, боярство которого по-прежнему цеплялось за «старину». На начавшихся переговорах сепаратисты выслушали жесткие требования великого князя: «Вече и колоколу... не быти. Посаднику не быти. А государство нам свое держати... А которые земли наши, великих князей, за вами, а то бы было наше». В январе 1478 г., видя, что силы неравны, они капитулировали, причем пожертвовали всеми вольностями и согласились с конфискацией части владичных (архиерейских) и монастырских земель.

Заметим, новгородский тип русского человека, сложившийся в условиях веча, колонизации огромных пространств северо-востока Европы, постоянных контактов с католическим Западом, конечно, отличался от московского, определявшегося, напротив, тесными связями с Золотой Ордой, деспотичным





**Успенский собор Московского Кремля.  
1475–1479 гг.  
Архитектор Аристотель Фьорованти.  
Старейшее полностью сохранившееся  
здание Москвы.**

тической системой великокняжеской власти, ориентацией преимущественно на внутренние ресурсы.

### **СВЕРЖЕНИЕ ОРДЫНСКОГО ИГА**

Во второй половине 70-х годов XV в. Московское государство отказалось платить дань Большой Орде, что стало началом назревания неминуемого вооруженного столкновения. Ее правитель Ахмат, прекрасный полководец, весной 1480 г. начал поход на Русь во главе многочисленного войска, и в июне его передовые отряды уже подошли к Оке. К счастью, Ивану III удалось избежать войны на два фронта: его противник не получил ожидаемой помощи от польского короля, обремененного собственными проблемами. Дело в том, что Казимир IV тогда одновременно боролся с мятежом аристократии и организовывал отпор набегу крымских татар под предводительством непримиримого соперника Ахмат-хана Менгли-Гирея, с которым посольство великого князя заблаговременно заключило союзное соглашение.

В ходе боев, начавшихся в октябре 1480 г. на притоке Оки Угре, войско Ивана III, пожалуй, впервые активно использовало пищали — легкую полевую артиллерию. Обстреливая неприятеля, русские держались стойко, не давая коннице врага переправиться на занятый ими левый берег реки. Между тем приближались морозы, грозившие сковать ее льдом, что позволило бы прорваться татарским всадникам. Поэтому, оставив на Угре сторожевые отряды, великий князь приказал главным силам отойти в северном направлении, к Боровску, на более выигрышные позиции, чтобы готовиться к дальнейшим боевым действиям. Тем временем Ахмат, осознав бесперспективность продолжения битвы, повелел своему измотанному войску отступить в степи.

Вернувшись с облегчением в Москву, Иван III вряд ли сразу понял, что победа, одержанная в результате проведенной кампании, вошедшей в историю как «Стояние на Угре», означала свержение многовекового ига. Впрочем, в качестве пережитка дани Русь



**Грановитая палата Московского Кремля.**  
1487–1491 гг. Архитекторы Марко Руффо и Пьетро Антонио Солари. Одно из древнейших гражданских зданий Москвы.

продолжала посылать «поминки» (подарки) Большой Орде до начала XVI в., а Крымскому ханству — еще и в следующем столетии. Надо сказать, великий князь в отличие от своих предшественников не участвовал в схватках с оружием в руках. Он выступал прежде всего в роли главнокомандующего, обеспечивал общее стратегическое руководство операциями, доверяя командование полками, принятие тактических решений опытным и проверенным в деле воеводам.

### ЗАБЫВАЯ О РОДСТВЕННЫХ ЧУВСТВАХ

Постепенно, шаг за шагом раздробленная Русь превращалась в единую державу. Иван III стремился ограничить удельную\* систему, поэтому землями умершего в 1472 г. Юрия Дмитровского и покоренного Великого Новгорода с братьями не поделился, отрицая их право на долю новых приобретений и на участие в управлении государством. А в 1481 г. он получил по завещанию бездетного Андрея Меньшого

\*Удельные княжества (уделы) — территории на Руси в XII–XVI вв., образовавшиеся в результате дробления крупных княжеств и, в свою очередь, дробившиеся на еще более мелкие. Территория удельного княжества являлась феодальным владением под управлением князя (прим. ред.).

Вологду, затем Белоозеро, Серпухов\*, Углич. Социальный статус удельных князей, ранее пользовавшихся относительной самостоятельностью в пределах своих владений, значительно понизился, и отныне, подобно боярам, помещным дворянам, они должны были отправляться на службу, «куда пошлет князь великий».

### СТРОИТЕЛЬСТВО НОВОГО КРЕМЛЯ

К началу правления Ивана III московская белокаменная крепость, возведенная в 1366–1367 гг., пережившая осаду золотоордынского хана Тохтамыша (1382 г.), татарского царевича Мазовши (1452 г.), несколько пожаров и сильный ураган 1460 г., изрядно обветшала. Поэтому, заняв престол, великий князь в первую очередь позаботился об ее ремонте. По его указанию известный тогда строитель Василий Ермолин и работавшие под его началом мастера прежде всего восстановили участок стены от Свибловой стрельницы (современной Водовзводной башни) до Боровицких ворот, а затем занялись Фроловскими

\*См.: О. Борисова. Подмосковная Третьяковка. — Наука в России, 2008, № 1 (прим. ред.).



**Колокольня Ивана Великого, в основании которой располагается церковь Иоанна Лествичника. Заложена в 1505 г. в память об умершем в тот год Иване III Великом, освящена в 1508 г. Архитектор Бон Фрязин.**

(ныне Спасскими), украсив их белокаменными скульптурами Георгия Победоносца и Дмитрия Солунского (христианских святых, великомучеников) — первыми в нашей столице.

В 1472 г. митрополит Филипп предложил в центре Кремля, на месте пришедшего в упадок белокаменного воздвигнуть новый Успенский собор из относительно нового для России строительного материала — кирпича. Иван III, желавший в нем отразить возрастающую мощь своей державы, поддержал начинание. Однако в мае 1474 г. возведенное до сводов здание вдруг рухнуло (по-видимому, из-за неправильных расчетов и раствора плохого качества). Тогда для завершения строительства государь пригласил из Италии известного архитектора Аристотеля Фьораванти\*, предписав взять за образец одноименный

собор во Владимире\*. И в августе 1479 г. новый главный храм Московского государства торжественно освятили. Кстати, талантливый иноземный зодчий, мастер на все руки, в 1485 г. в качестве начальника артиллерии участвовал в походе московского войска против Тверского княжества.

В 1485—1495 гг. также под руководством итальянцев был сооружен новый Кремль из красного кирпича с 20 башнями и мощной оградой (высотой 5—19 м, толщиной 3,5—6,5 м), а в 1487—1491 гг. — великокняжеский дворец с залом для парадных приемов, названный за наружную отделку «Грановитая палата» (зодчие Марко Руффо и Пьетро Антонио Солари). К тому же их соотечественники учили русских строить мосты и отливать более совершенные, чем ранее, пушки на созданном в Москве Пушечном дворе.

\*См.: В. Зверев. Москва белокаменная. — Наука в России, 1992, № 1—2 (прим. ред.).

\*См.: О. Базанова. Заповедные места Владимирской земли. — Наука в России, 2005, № 4 (прим. ред.).



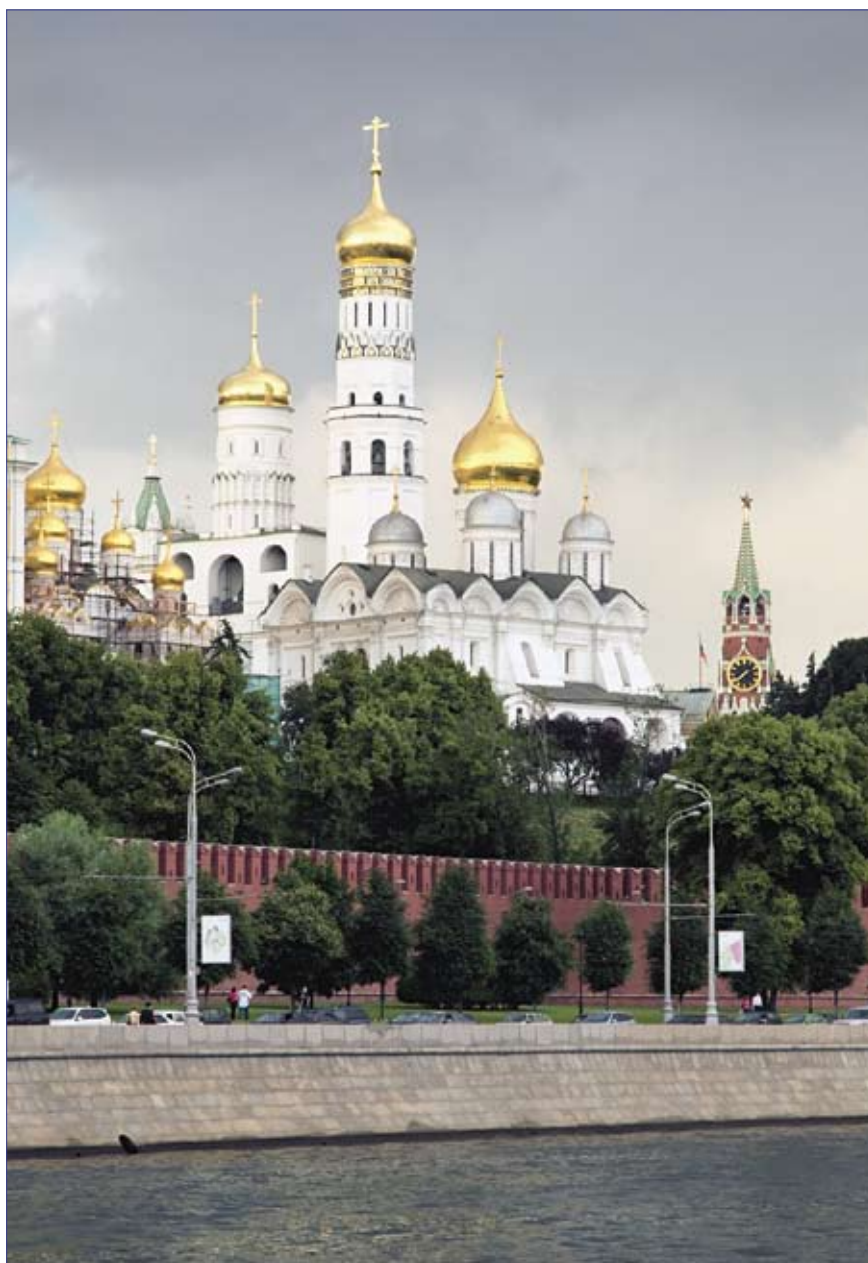


**Архангельский собор (святого Архистратига Михаила). 1505–1508 гг.  
Архитектор Алевиз Новый.**

### НОВЫЙ ТИТУЛ ПРАВИТЕЛЯ МОСКОВИИ

В договорной грамоте Великого Новгорода и Пскова с юрьевским епископом (г. Юрьев — ныне Тарту, Эстония) от 13 января 1474 г. Ивана III величали как «господина нашего и государя... царя всея Руси». Подобная формулировка появилась и в послании к нему от кахетинского царя Александра 1483 г., в соглашениях, заключенных Московским государством в 1481 и 1494 гг. с Литвой, и т.д. К тому же в переписке с главами многих зарубежных стран великий князь нередко сам называл себя царем, хотя в отличие от своего внука Ивана IV не произвел обряда коронования.

В январе 1489 г. прибывший в Москву посол императора Священной Римской империи Николай Поппель предложил от имени своего повелителя Ивану III королевскую корону. Однако западноевропейский дипломат получил такой ответ: «Мы Божиею милостью государи на своей земле изначала, от первых своих прародителей. А поставление имеем от Бога, как наши прародители, так и мы... А постановления, как перед сим не хотели ни от кого, так и ныне не хотим». Титул же «государь всея Руси» стал широко употребляться на его печатях, в документах, особенно после присоединения к Московскому княжеству Великого Новгорода и Твери.



*Вид на колокольню Ивана Великого и Архангельский собор с Москвы-реки.*

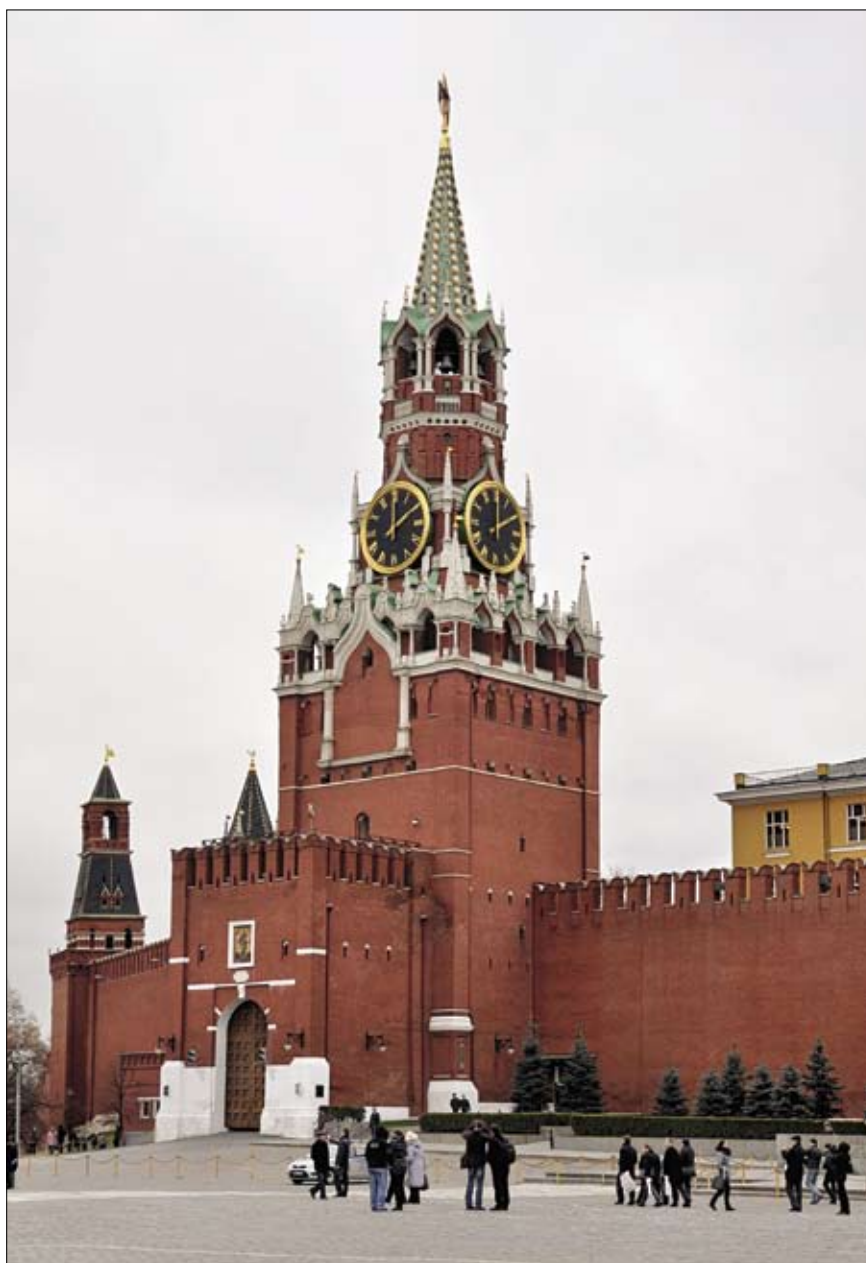
### ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИМВОЛИКА

Серебряные монеты, чеканившиеся в те времена для обращения на внутреннем рынке, имели на лицевой стороне изображение всадника с саблей, а на оборотной — фигуру человека с круговой надписью «Господарь всея Руси» (в начале правления Ивана III там арабскими буквами значилось «Денга московская» в знак зависимости Руси от Золотой Орды). Стремясь подражать императорам могущественной Священной Римской империи германской нации, великий князь московский около 1490 г. заимствовал с их печатей изображение двуглавого орла. Кстати, такой же геральдический символ использовали в Византии, что, несомненно, было ему хорошо извест-

но от дипломатов, Софьи Фоминичны, ее окружения и учитывалось при создании печати государя.

### ПЕРВЫЙ СВОД ЗАКОНОВ МОСКОВИИ

Эпоха правления Ивана III ознаменовалась также появлением Судебника (1497 г.) — правового документа, вводившего во всех землях русского государства унификацию судебно-процессуальных норм: единый порядок рассмотрения споров, назначения наказаний за получение взяток («посулов»), за совершение уголовных преступлений, в том числе смертную казнь за наиболее тяжкие. Впрочем, великий князь порой применял такую меру к уличенным в политической измене и, правда реже, в еретических взгля-



**Спасская башня. 1491 г.**  
**Архитектор Пьетро Антонио Солари.**

дах. Суд вершили бояре и окольные (придворный чин, второй после боярского).

Одна из 68 статей этого свода законов, дошедшего до наших дней в единственном рукописном экземпляре, ограничивала «отказы» крестьян (переходы от одного феодала к другому) сроком в две недели — одной до и другой после Юрьева дня — православного праздника в честь святого Георгия (Юрия), отмечавшегося 26 ноября. Так началось юридическое оформление российского крепостного права, затянувшееся до конца XVII в.

Иван III опирался на верхушку московской аристократии — назначавшихся им членов боярской думы. При нем появились первые административные

учреждения: казна во главе со средневековым «министром финансов», дворец со штатом дьяков — чиновников; началось формирование военного и дипломатического ведомств. Первый «государь всея Руси» занимал престол 43 года 7 месяцев — дольше всех фактических правителей нашей страны. Будучи человеком своей эпохи — властолюбивым, нередко коварным, жестоким, он в то же время обладал проницательностью, мудростью, дальновидностью и был неутомим в деле возвышения своего государства, за что заслужил в народе прозвище «Великий».

*Иллюстрации предоставлены автором*



# «ЛЕВ РУССКОЙ АРМИИ»

Кандидат исторических наук Евгений МЕЗЕНЦЕВ,  
Институт российской истории РАН (Москва)

**2012 г. — Год российской истории — отмечен  
юбилеями нескольких судьбоносных событий в жизни нашей страны.  
Один из них — 200-летие победы нашего народа  
в Отечественной войне 1812 года. Низкий поклон ее героям,  
отстоявшим честь, достоинство и свободу Родины,  
давшим отпор покорившей почти всю Европу наполеоновской армии!  
И в их числе талантливому военачальнику генералу от инфантерии  
князю Петру Багратиону (1765-1812) —  
любимому ученику величайшего русского полководца,  
не знавшего поражений, Александра Суворова (1730-1800).**

**В** 1812 г. Петр Иванович уже имел за плечами 30-летний боевой опыт и был широко известен в Европе. Особенно хорошо знали и опасались самого решительного и отважного генерала русской армии французы, с которыми он впервые скрестил оружие еще в 1799 г. в Италии под знаменами Суворова\*, а затем одержал над ними ряд побед в Австрии и Пруссии в Наполеоновских войнах 1805—1807 гг.\*\*.

Не случайно позднее, накануне нападения на нашу

\* Итальянский поход Суворова — боевые действия возглавляемой им русско-австрийской армии против французских войск в северной Италии в апреле-августе 1799 г.; См.: А. Богданов. «Меч России». — Наука в России, 2011, № 1 (прим. ред.).

\*\* Наполеоновские войны — боевые действия, которые вела Франция и ее союзники в годы Консульства (1799-1804 гг.) и империи Наполеона I (1804-1815 гг.) против коалиций европейских государств (прим. ред.).

страну, Бонапарт заметил: «Генералов хороших у России нет, кроме одного Багратиона».

И действительно, Петр Иванович прекрасно знал психологию противника: французы в силу особенностей национального менталитета горячо и энергично атакуют, но гораздо хуже обороняются. Поэтому, исходя из суворовского правила не ждать грозящей опасности, а смело идти ей навстречу, в середине марта 1812 г. он предложил императору Александру I начать упреждающие действия (выйти на линию реки Вислы, с юга на север пересекающей центральную часть Польши, чтобы принять первые бои на чужой территории, в отдалении от центра нашей страны).

План князя состоял в следующем. В первую очередь государю следовало сделать Наполеону строгое предупреждение: если французские и союзные им



**На западной границе. Июнь 1812 г.  
Художник Александр Аверьянов. 2008 г. (собственность автора).**

войска форсируют реку Одра (пограничную между Германией и Польшей) и продолжают наступление далее на восток, Россия воспримет это как объявление ей войны\*. По мнению Багратиона, Бонапарт проигнорирует царский ультиматум, значит, у нашего командования будут развязаны руки для ответных действий. И пока неприятель будет перемещаться с Одры на Вислу, на что, по расчетам Петра Ивановича, уйдет 1,5-2 месяца, нужно сформировать две 100-тысячных армии — в Прибалтике и у Белостока (Польша) — с осадной артиллерией, годовым запасом провианта, фуража, 50-тысячным подкреплением. Обе группировки должны двинуться на запад для занятия рубежа по Висле до подхода противника.

Белостокской армии, во главе которой князь видел себя, следовало захватить Варшаву, а Прибалтийской — Восточную Пруссию, затем при содействии с моря Балтийского флота осадить важную крепость и порт Данциг (ныне Гданьск, Польша). Такая тактика позволила бы начать бить вражеские войска по частям, не дожидаясь их полного сосредоточения (главное, чего добивался Багратион), т. е. действовать по-наполеоновски и по-суворовски: именно так всегда поступал император французов, а еще раньше — великий русский полководец. Вторжение в Польшу Петр

Иванович оправдывал тем, что она была союзницей Бонапарта, а в Пруссию — заключением ею в феврале 1812 г. с Парижем соглашения против нашей страны.

Однако предложение князя, как, впрочем, и других генералов, разрабатывавших планы превентивного удара по войскам противника, осталось нереализованным: Австрия, на нейтралитет которой он рассчитывал, в марте 1812 г. вступила в военный союз с Францией. Кроме того, Наполеон, узнав о замыслах упреждающих действий против его армии, пригрозил Александру I окружением русских соединений, если они осмелятся выступить против него. В результате царь решил пассивно выжидать вторжения неприятеля.

Между тем опасения государя, думается, были напрасными. На протяжении всего военного противостояния России и Франции Бонапарту ни разу не удавалось окружить и уничтожить ни одну нашу армию и даже корпус. Дело в том, что воспитанники Суворова привыкли к стремительным переходам, обладали большей выносливостью, передвигались гораздо быстрее, чем их противник, особенно по бездорожью, и всегда успевали уклониться от его охватывающих ударов. Враг лишь иногда брал в кольцо легкие отряды (как правило, действовавшие в его тылу), но никогда не мог принудить к капитуляции или полностью истребить — около половины их состава всегда пробивались к своим.

В преддверии войны наиболее сильную 1-ю Западную армию (130 тыс. человек) ввели главнокоман-

\*Александр I так и поступил. Наполеон действительно, как и предвидел Багратион, отвлекая внимание царя для выигрыша времени переговорами по спорным вопросам, продолжал движение к русским границам (прим. авт.).



**Бой за Багратионовы флеши.**  
Художник Александр Аверьянов. 1992 г. (Музей-панорама «Бородинская битва»).

дующему русскими войсками военному министру Михаилу Барклаю-де-Толли (1761-1818), 2-ю же Западную (45 тыс.) — Багратиону. Такое решение Александра I объяснялось тем, что он считал Петра Ивановича хорошим тактиком, но лишенным стратегического мышления, к тому же слишком горячим. Однако при всей склонности к наступательным действиям, любимый ученик Суворова умел мастерски обороняться и осуществлять маневры: если численное превосходство было не на его стороне, то он отводил свои полки, выжидая благоприятный момент для нападения на врага. Словом, князю вполне были присущи предусмотрительность и осторожность, хотя это было не так заметно, поскольку в письмах и речах он предпочитал говорить о контрударах и атаках.

Добавим: весной 1812 г. именно по настоянию Багратиона государь приказал выселить из западных губерний во внутренние области России польских помещиков, готовых оказать поддержку Наполеону; прекратить отправку украинского хлеба на судах по рекам Буг и Висла в Данциг, чтобы ни провиант, ни водный транспорт не попали к противнику; запретить переезд через российско-польскую границу в обе стороны без специального разрешения.

Итак, 1-я Западная армия, дислоцировавшаяся в Курляндии, Литве, северной Белоруссии, прикрывала пути на Петербург и Москву, а 2-я Западная, размещенная вблизи Луцка и подкрепляемая равносильной

ей Резервной (Обсервационной) генерала от кавалерии Александра Тормасова (1752-1819), — стратегическое направление на Киев. Такое скопление войск на Украине объяснялось тем, что командование, узнав о намерении Австрии выступить на стороне Наполеона, ожидало от нее удар со стороны города Львова.

Петр Иванович энергично готовился к предстоящим битвам: проводил учения с прицельной стрельбой по мишеням, активно боролся с развившимся вражеским шпионажем, позаботился о надлежащей организации связи, интендантской службы, об обеспечении войск всем необходимым, особое внимание уделив питанию и медицинскому обслуживанию солдат. Эти меры дали закономерный результат: когда грянула «гроза 1812 года», его армия оказалась гораздо лучше подготовленной для отпора противнику, чем возглавляемые Барклаем-де-Толли и Тормасовым.

Багратион отлично наладил и агентурную разведку, благодаря чему, в частности, первым узнал о том, что стоявший против его полков в районе Львова австрийский корпус фельдмаршала-лейтенанта Карла Филиппа Шварценберга в мае 1812 г. начал перемещаться на север с целью выйти в район Бреста и Дрогичина, где было огромное «окно», не занятое русскими войсками. Князь сразу же испросил разрешение у Александра I на передислокацию своей армии в том же направлении, чтобы прикрыть незащищенные пространства, а на ее прежнее место предложил





**Конный портрет императора Александра I. Художник Франц Крюгер. 1837 г.  
(Военная галерея Зимнего дворца. Государственный Эрмитаж, Санкт Петербург).**

направить Резервную Тормасова, переименовав ее в 3-ю Западную, что было одобрено царем.

Накануне войны Петр Иванович, видя растянутое расположение наших приграничных соединений, обратился к государю с просьбой дать приказ на их сближение, чтобы ликвидировать образовавшиеся разрывы, но сделать это до начала вторжения врага не успели. К тому же «лев русской армии», как нередко величали отважного генерала, по-прежнему стремился сорвать намерения Наполеона неожиданным наступлением. «Гораздо полезнее было бы, — писал он Александру I, — не дожидаясь нападения, противустать неприятелю в его пределах». Однако такого распоряжения не получил.

12 июня 1812 г., после перехода главными силами французов под командованием вице-короля Италии Евгения Богарне нашей границы у города Ковно (Литва), 1-я Западная армия Барклай-де-Толли начала отступать по заранее разработанному плану к Дрис-

скому лагерю на реке Западная Двина, все более удаляясь от 2-й Западной Багратиона. Последнему же главнокомандующий приказал отходить в том же направлении, но через Минск, Полоцк или Витебск (Белоруссия), одновременно действуя во фланг и тыл противника (вчетверо превосходящего по численности его войска!) и отчасти заслоняя ему дорогу на Москву. Как видим, задача была не из легких. Однако и в таких условиях Петр Иванович не оставлял идеи перейти в атаку, хотя бы ненадолго, исключительно на своем участке фронта, чтобы сорвать вражеские планы. «Даже отступая, наступать!» — таков был его девиз.

Пользуясь тем, что 70-тысячная армия наполеоновского брата Жерома Бонапарта и 30-тысячный австрийский корпус Шварценберга, стоявшие против его соединения, еще не вышли к русской границе, Багратион в письме к главнокомандующему от 14 июня 1812 г. предлагал силами своей армии при поддержке казачьего корпуса генерала от кавалерии



Портрет П. И. Багратиона. Художник Джордж Доу. 1822-1823 гг.  
(Военная галерея Зимнего дворца. Государственный Эрмитаж, Санкт Петербург).

Матвея Платова (1751-1818) провести диверсионный бросок к Варшаве. Во время этой вылазки он предполагал уничтожить склады противника, прежде всего провиантские, после чего стремительно отойти к Бресту и Кобрину (Белоруссия), где при содействии армии Тормасова сдерживать наступление опомнившегося неприятеля.

Но царь не дал разрешения на столь рискованную операцию и подтвердил приказ об отходе армии князя на соединение с 1-й Западной, причем кратчайшим путем — через Новогрудок и Вилейку (Белоруссия). Однако Наполеон, заняв Вильно (ныне Вильнюс, Литва), двинул оттуда 60-тысячный корпус своего лучшего маршала Луи Даву наперерез войскам Петра Ивановича, по пятам за которыми шли части Жерома Бонапарта.

Сначала Багратион в духе Суворова думал разгромить преследователя, посредственного полководца, а потом повернуться против более сильного противника — Даву — и, одолев его, открыть себе дорогу к группировке Баркляя-де-Толли. Но Жером, по данным разведки, собирался не принимать сражение, а

отступать, заманивая 2-ю Западную армию в свой тыл. Поэтому князь повел ее к Бобруйску, куда при- был раньше французов, по дороге разбив конный отряд Жерома, атаковавший русский арьергард, состоявший из казаков Платова и регулярной кавалерии.

Из Бобруйска Петр Иванович направил свои полки к Могилеву, где была единственная постоянная переправа через Днепр, но там уже стояла 28-тысячная группировка Даву. Передовой 11-тысячный корпус генерал-лейтенанта Николая Раевского (1771-1829) у близлежащей деревни Салтановка храбро атаковал и потеснил передовые войска неприятеля, покрыв себя неувядаемой славой. Однако затем, встретив его сильное сопротивление, по приказу Багратиона отошел на 3 км, к селу Дашковка. В сложившейся обстановке князь счел за благо не лезть напролом, а обмануть противника, оперативно обойдя его с фланга. Пока наш арьергард активно изображал желание возобновить бой и Даву лихорадочно к нему готовился, 2-я Западная армия спокойно переправилась через Днепр южнее Могилева, у Нового Быхова, а вскоре ее догнали и части Раевского.



**Портрет А. П. Тормасова. Мастерская художника Джорджа Доу. 1822-1825 гг. (Военная галерея Зимнего дворца. Государственный Эрмитаж, Санкт-Петербург).**

Прикрывшись со стороны Могилева прочной «завесой» из казачьих пикетов Платова, Петр Иванович устремился к Смоленску, о чем послал извещение Барклаю-де-Толли, тоже направившемуся в этом направлении. Даву понял, что происходит, лишь когда Багратион выиграл у него два дневных перехода. Лучший наполеоновский маршал спешно двинулся параллельным маршем в надежде опять перехватить 2-ю Западную армию, однако не нагнал. И 22 июля 1812 г. она соединилась с 1-й Западной.

Видя, что Бонапарт разбросал свои войска и его передовые корпуса не успеют получить помощь от главных сил в случае неожиданного контрнаступления русских, князь вновь предложил Барклаю-де-Толли начать бить врага по частям. Однако главнокомандующий медлил с принятием решения и, к негоднованию Петра Ивановича, дал французам время перехватить инициативу, собрать и двинуть войска к Смоленску. Тем не менее дивизия генерал-лейтенанта Дмитрия Неверовского из армии Багратиона у поселка Красный (в 45 км к юго-западу от Смоленска) на целый день задержала продвижение неприятеля.

Затем последовало 2-дневное сражение, в котором снова отличились бойцы Раевского: в первые сутки обороны они отбили все штурмы противника, нанеся ему немалый урон. Князь считал, что битву можно продолжать с успехом и далее, а если уж отходить, то оставить гарнизон для защиты Смоленска — тогда Наполеону пришлось бы выделить для блокады города сильный корпус, что ослабило бы главные силы французов. Однако Барклаю-де-Толли не согласился ни на первое, ни на второе. Приказав Петру Ивановичу отходить к Москве, он сам со своей армией стал отступать на север, по петербургской дороге, рассчитывая, что вслед отправится Бонапарт с большей частью своих войск.

Но император французов послал основные силы преследовать Багратиона, полагая Первопрестольную более важной целью. Когда же Барклаю-де-Толли понял свою ошибку и повернул к Москве, его арьергарду под командованием генерал-майора Павла Тучкова 3-го при помощи казаков генерал-лейтенанта Акима Карпова из 2-й Западной армии пришлось выдержать тяжелый бой с наседавшим неприятелем.





**Портрет М. Б. Барклая-де-Толли.**  
Художник Джордж Доу. 1829 г.  
(Военная галерея Зимнего дворца. Государственный Эрмитаж, Санкт-Петербург).



**Портрет М.И. Кутузова.**  
Художник Джордж Доу. 1829 г.  
(Военная галерея Зимнего дворца. Государственный Эрмитаж, Санкт-Петербург).

при Валутиной горе (у деревни Лубино, в 20 км восточнее Смоленска).

Между тем 17 августа русские войска возглавил фельдмаршал Михаил Кутузов\*. Всесторонне рассмотрев возможные варианты позиции для генерального сражения, новый главнокомандующий остановил выбор на поле у села Бородино, близ Можайска. Причем наиболее уязвимый, левый, участок предстоящей битвы он поручил «льву русской армии». Развернувшиеся 26 августа боевые действия показали, что это решение было верным: вверенные Багратиону 30–34 тыс. бойцов дрались так упорно и отчаянно, что французы сочли его армию численно вдвое боль-

шей, и пока князь был в строю, врагам ни на шаг не удавалось сдвинуть их с места.

Неприятель неоднократно захватывал флеши (полевые укрепления) у деревни Семеновское, но багратионовцы неизменно штыками отбрасывали его обратно. Во время своей последней контратаки Петр Иванович устроил там нападающим настоящую резню. Но, к несчастью, именно тогда он был тяжело ранен осколками пушечной гранаты. Известие об этом печальном событии вызвало замешательство среди наших солдат: они прекратили преследование отступающего противника и покинули уже отбитые у него позиции. Так выбытие из строя любимца всей армии, как горько сетовал потом Кутузов, серьезно повлияло на судьбу всего дальнейшего сражения.

\*См.: Г. Герасимова. Великий воин и дипломат. — Наука в России, 2008, № 2 (прим. ред.).

**Подвиг солдат Раевского  
под Салтановкой.  
Художник Николай Самокиш.  
1912 г. (Музей-панорама  
«Бородинская битва»,  
Москва).**



**Памятник Багратиону  
в Москве. 1999 г.  
Скульптор Мераб  
Мерабишвили,  
архитектор Борис Тхор.**



Жертвенной сдачи врагу Москвы Багратион, как и многие его современники, не понял, считая, что можно было обойтись без этой крайности. Князь был твердо уверен: даже самые лучшие французские солдаты не устоят против русских чудо-богатырей, если ими умело руководить. Он хотел бить неприятеля по частям, нападая на отдельные корпуса. Атаковать же основные силы Наполеона он предполагал возможным, только имея равную с ними численность, в прочих же случаях хоть и неохотно, но отступал. Однако при малейшей возможности, желая ободрить и воодушевить своих бойцов, Петр Иванович всегда стремился нанести контрудар. Даже в обороне он был активным, постоянно устраивая контратаки.

Солдаты боготворили бесстрашного генерала почти так же, как Суворова, и уже с 1807 г. слагали про него песни (про Кутузова — в основном только с 1812 г.). Они говорили: «Суворов — отец русской славы, а Багратион — сын ее!». Преждевременная смерть Петра Ивановича отозвалась жгучей болью в сердцах всех патриотов, ведь его могучий полководческий талант угас в самом расцвете. К сожалению, князь не дожид до победы, но до последнего вздоха твердо в нее верил, и вклад его в успешный исход Отечественной войны 1812 года огромен.

*Иллюстрации предоставлены автором*



# ВЫСОТЫ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ

**В** свое время в нашей стране действовала эффективная сеть наземных инструментов — телескопов, радаров и лидаров — для исследования Солнца и околоземного пространства, позволявшая специалистам получать результаты мирового уровня. Однако с начала 1980-х годов ситуация стала меняться не в лучшую сторону: после распада СССР часть этого оборудования перешла в собственность стран СНГ, другая устарела из-за отсутствия средств на модернизацию. Между тем изучение с помощью такого инструментария процессов на поверхности светила, их влияния на межпланетную среду, магнитно- и ионосферу, верхнюю атмосферу, иными словами, изучения проблем солнечно-земной физики сегодня, как никогда, актуально.

«Околоземное космическое пространство — это уже не экзотика, оно сейчас непосредственно включено в сферу деятельности человека, — сказал в интервью корреспонденту газеты «Наука в Сибири» Галине Киселевой один из известных в нашей стране интерпретаторов космической погоды академик Гелий Жеребцов. — Сегодня в этой среде работает огромное количество летательных аппаратов, спут-

ников, от которых зависит многое в нашей жизнедеятельности — телевидение, интернет, сотовая и радиосвязь, постоянно функционирует Международная космическая станция. Здесь активно используются фундаментальные знания для решения прикладных задач в интересах экономики, безопасности страны, проводятся самые разнообразные исследовательские работы». Поэтому, утверждает ученый, важно владеть полной информацией о процессах, протекающих на Солнце и в околоземном космосе, магнитосфере и ионосфере Земли. И для сбора таких данных нужны не только спутники, но и наземные инструменты и оборудование: солнечные оптические и радиотелескопы, радары и лидары.

С точки зрения Жеребцова, 26 лет (1984-2010 гг.) руководившего Институтом солнечно-земной физики СО РАН (г. Иркутск), эти задачи следует решать в рамках мегапроекта, получившего название «Национальный гелиогеофизический комплекс РАН». Работы по нему указанный институт ведет в кооперации с академией с 2007 г. — именно тогда программа была представлена в Правительство РФ по поручению Президента Владимира Путина. Она предусматрива-





**Большой солнечный внеатомный коронограф Саянской солнечной обсерватории.**

ет создание в 2012–2017 гг. на базе сети обсерваторий иркутского учреждения крупных экспериментальных установок, ориентированных на решение актуальных фундаментальных и прикладных задач в интересах безопасности страны и развития новых, конкурентоспособных космических технологий, в том числе двойного назначения. Общий объем инвестиций за счет средств федерального бюджета составляет ~10 млрд руб. С вводом комплекса в строй наша страна сможет осуществить переход на новый перспективный уровень отечественных экспериментальных работ в области солнечно-земной физики. Проект получил поддержку всех заинтересованных министерств и ведомств РФ, но финансирование его из центра по ряду причин затягивается, хотя Сибирское отделение РАН уже выделило средства на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

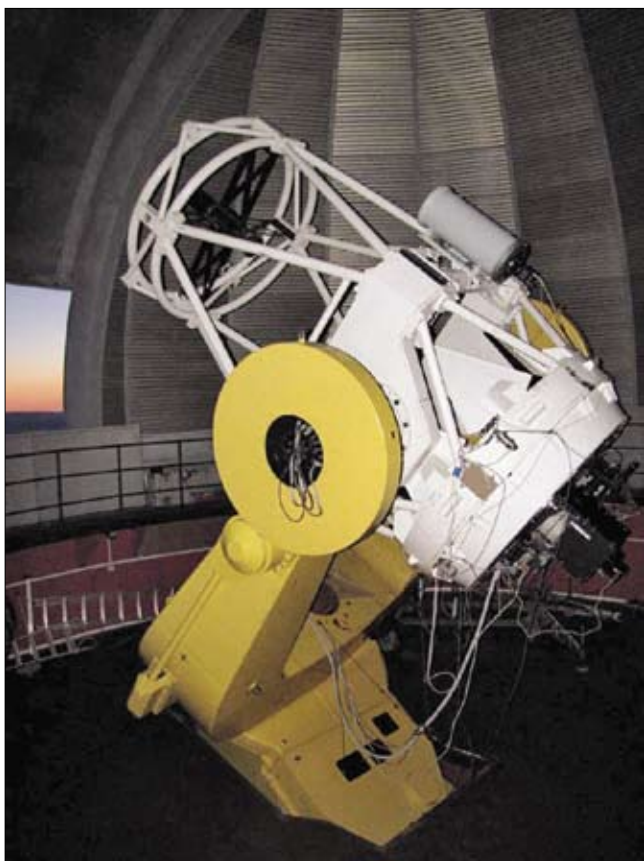
Институт солнечно-земной физики СО РАН не случайно стал инициатором мегапроекта. Это — крупнейший и единственный в России центр по изучению Солнца, межпланетной среды и их влияния на Землю. По набору масштабных научных инструментов, полигонов, обсерваторий, принадлежащих одному учреж-

дению, размещенных на огромной территории Восточной Сибири, ему нет равных.

Заметим, еще в 1886 г. в Иркутске была открыта магнитная обсерватория, с которой и начались систематические гео- и гелиофизические изыскания в России. Именно она зарегистрировала в 1908 г. загадочный эффект резкого изменения магнитного поля Земли в результате падения Тунгусского космического тела\*. В 1956 г., в преддверии Международного геофизического года, ее реорганизовали в комплексную магнитно-ионосферную станцию. Через два года здесь появились первые инструменты, с их помощью наблюдали Солнце в оптическом и радиодиапазонах. А в 1960 г. на базе этой станции был создан Сибирский институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн, преобразованный впоследствии в Институт солнечно-земной физики СО РАН.

Хороший астроклимат Восточной Сибири позволил в тот год заложить Саянскую солнечную обсерваторию (в 300 км к западу от Иркутска на высоте 2000 м на советско-монгольской границе), Байкальскую

\*См.: Э. Галимов, М. Назаров. Столетие Тунгусского события. — Наука в России, 2008, № 3 (прим. ред.).



**Телескоп АЗТ-33 ИК — самый большой из недавно построенных отечественных инструментов — в Саянской солнечной обсерватории.**

астрофизическую (в 60 км к юго-востоку от Иркутска на горном склоне над озером Байкал) с большим солнечным вакуумным телескопом, а несколько позже в живописной долине, примыкающей к Байкалу, — Тункинскую радиоастрономическую обсерваторию. Здесь, вблизи урочища Бадары, был сооружен уникальный инструмент — Сибирский солнечный радиотелескоп — радиоинтерферометр из 256 антенн, выстроенных в форме гигантского креста. В 1996 г. коллектив его создателей получил премию Правительства РФ в области науки и техники.

Тяжелые для страны и науки 1990-е годы институт прошел с минимальными потерями. Благодаря эффективному руководству он не только сохранил обсерватории и полигоны, но и продолжил оснащать их новыми приборами. Одним словом, 50-летняя история центра убедительно доказывает: его коллектив способен реализовать программу национального масштаба.

Рассматриваемый мегапроект, отметил Гелий Жеребцов, объединит в единую сеть большой солнечный телескоп, радиогелиограф, многофункциональный радиофизический комплекс для исследования околоземного космического пространства, систему радаров и лидарно-оптический комплекс для изучения верхних слоев атмосферы.

Ввод в строй телескопа-коронографа с диаметром зеркала 3 м, по словам ученого, должен внести реша-

ющий вклад в наше понимание происхождения солнечной активности, управляющей явлениями космической погоды в межпланетной среде и околоземном пространстве. «Мы знаем, — заметил он, — что большие солнечные вспышки рождают потоки высокоэнергичных частиц. Выбросы корональной массы порождают ударные волны, ускоряющие их. Все это может вызвать нарушения в работе технических систем, представляет опасность для здоровья космонавтов, пассажиров авиалайнеров, трассы которых проходят через полярные зоны Земли».

Спусковой механизм нарушения равновесия лежит в тонкой структуре магнитного поля Солнца. Телескоп даст точные знания о микроструктуре магнитных полей в самых глубоких слоях фотосферы, позволит заглянуть в подфотосферные слои. «В конечном итоге мы придем к физически обоснованной модели солнечно-земного взаимодействия», — подчеркнул Жеребцов.

С помощью другого инструмента — многоволнового радиогелиографа, или многоволнового солнечного радиотелескопа, включенного в гелиогеофизический комплекс, — специалисты будут изучать процессы в короне Солнца. Вспышки, выбросы ионизированной массы, утверждает академик, приводят к резкому увеличению потоков плазмы солнечного ветра, ускоренных частиц и жестких электромагнитных излучений в околоземном пространстве. Источник энергии взрывных процессов — магнитное поле в атмосфере светила. При этом с выбросами плазмы к Земле «тянутся» так называемые магнитные облака, поля которых радикально влияют на геоэффективность возмущений солнечного ветра. Определение их структуры — ключевой вопрос в понимании природы солнечной активности и развитии основ и методов прогноза космической погоды. Измерение корональных магнитных полей возможно только по излучению ближайшей к нам звезды в радиодиапазоне. Наблюдения на современном радиогелиографе позволят наряду с этой диагностикой получать и качественно новую информацию для решения ключевых проблем солнечной активности.

Проект предполагает поэтапное создание трех антенных Т-образных решеток с длиной луча ~1 км. Сигнал со всех антенн будет собирать в аппаратном зале с помощью оптоволоконных линий связи, при этом специалисты получают одновременно не менее шести изображений Солнца на различных частотах. Следует отметить: при новом строительстве будут использованы излучатель Сибирского солнечного радиотелескопа в Бадарах и созданная для его обслуживания инфраструктура.

Для решения другой задачи — мониторинга мощных протонных вспышек — предполагается установить два телескопа на высоте ~2000 м: на территории Саянской горной солнечной обсерватории и в поселке Нижний Архыз (Республика Карачаево-Черкес-



**Большой солнечный  
вакуумный телескоп  
Байкальской астрофизической  
обсерватории.**



сия), где расположен крупнейший аппарат РАТАН-600 (радиотелескоп Академии наук). Вся эта система должна работать как единый пространственно разнесенный инструмент.

Но, пожалуй, наибольшие затраты связаны с созданием радиофизического комплекса для исследования ближних к поверхности нашей планеты слоев. Верхняя атмосфера (на высоте от 80 до 1500 км) составляет одну из важнейших частей единой системы Солнце—Земля и играет ключевую роль в процессах взаимодействия ионизированной и нейтральной газовых оболочек. Это та область, на которую воздействуют процессы, происходящие «сверху» (на Солнце) и «снизу» (начиная от уровня Земли и океана). Радиофизический комплекс должен внести определяющий вклад в понимание перечисленных взаимодействий.

Важную роль здесь будет играть и мезосферно-стратосферно-тропосферный радар, измеряющий параметры атмосферы в интервале от 1 до 90 км, что позволит изучать слои атмосферы как единую систему (заметим, данный метод будет впервые реализован в нашей стране). А входящий в радиофизический комплекс радар некогерентного рассеяния, разработанный с применением новейших технологий, даст параметры околоземного космического пространства, начиная с нижних слоев ионосферы (100 км) до магнитосферы (2000 км) включительно.

«Надо учитывать, — заметил Жеребцов, — что все процессы, которые мы изучаем, носят глобальный, планетарный характер, и невозможно получить цельную картину того или иного явления, если вести

наблюдения в одном месте. Для полных фундаментальных исследований важна картина в целом, поэтому такие крупномасштабные исследования должны носить международный характер».

Изучение ионосферы и верхней атмосферы, подчеркнул академик, представляет интерес для различных областей науки и техники: космической и наземной радиосвязи, радиолокации и навигации, летательных аппаратов и спутников.

Радиофизический комплекс будет базироваться в пределах 200 км от Иркутска и восполнит существующий пробел в долготной цепи геофизических центров США, Европы и Японии. Этот регион характеризуется высокой сейсмической активностью, обеспечивающей необходимые условия для атмосферных и ионосферных исследований. Именно здесь в последние годы зарегистрировано много необычайно мощных возмущений в верхней атмосфере, в том числе и при умеренных геомагнитных бурях. Данные приборов будут иметь большое значение для получения глобального распределения параметров ионосферы и атмосферы, что крайне необходимо для понимания планетарных явлений.

Одна из центральных проблем солнечно-земной физики — воздействие солнечного ветра на магнито- и ионосферу нашей планеты — находится сейчас в сфере внимания международной сети «Супердарн», состоящей из 17 высокочастотных коротковолновых радаров когерентного обратного рассеяния, радиолокационное поле которых покрывает полярные области в Северном и Южном полушариях. Владеют этим





**Сибирский солнечный радиотелескоп в предгорьях Восточного Саяна.**

инструментом 9 стран: США, Канада, Великобритания, Франция, Италия, Япония, Австралия, ЮАР и Китай. В ближайшие годы коллаборация планирует развернуть в полярных и субполярных регионах еще 7 новых радаров. Однако без участия России — ее территория охватывает значительный долготный сектор — невозможно восстанавливать систему конвекции ионосферной плазмы в Северном полушарии и прогнозировать развитие возмущений верхней атмосферы во время геомагнитных бурь. Поэтому в нашей национальной программе предусмотрено развитие российского сегмента когерентных высокочастотных радаров как части сети «Супердарн». Это поможет в полной мере реализовать ее возможности и обеспечить паритетное участие отечественных ученых в международной кооперации.

Жеребцов считает, что в рамках этого проекта на территории нашей страны необходимо построить минимум четыре радиолокационные станции на полигонах Института космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН (п. Паратунка Камчатского края) вблизи поселка Стекольный Магаданской области и города Братска, а также Института геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН (г. Екатеринбург) недалеко от поселка Арти Свердловской области, чтобы «замкнуть» систему мониторинга полярной и субполярной ионосферы Северного полушария.

И, наконец, важнейшей частью гелиогеофизической национальной программы должен стать лидарно-оптический комплекс. Для изучения верхней атмосферы и ионосферы, состоящих из нейтрального газа и заряженных частиц, электронов и ионов, обладающих собственным свечением, применяют оптические приборы: интерферометры, фотометры, спектрографы и лидары. Работа последних основана на излучении в атмосферу коротких световых импульсов, формировании сигналов в обратном направлении и оценке по полученным данным различных параметров газовой оболочки небесного тела.

Программой предусмотрено создание многоканального лидара на территории Байкальской астро-

физической обсерватории в поселке Листвянка для получения важных физических параметров средних и верхних слоев: температуры, плотности ветра, состава, формируемого под воздействием природных процессов и антропогенного влияния.

Еще одна задача лидарно-оптического комплекса — изучение изменений в области мезопаузы, т.е. в интервале высот от 80 до 100 км. «Сейчас перед научным сообществом, — сообщил Жеребцов, — встал очень интересный вопрос: изменяется ли климат на высоте мезосферы? Если да, то как и почему это происходит?». Многоканальный лидар внесет ясность и в эти спорные проблемы.

К сожалению, заключил Жеребцов, наша страна пока не располагает столь широким набором технических средств, а это увеличивает темп ее отставания от зарубежных конкурентов. За последние 20 лет на Западе для изучения Солнца, магнитосферы, верхней атмосферы Земли создано большое количество крупных экспериментальных установок и обсерваторий нового поколения. Так, на Аляске введен в строй новейший нагревной стенд и радар для зондирования ионосферы мощным коротковолновым радиоизлучением. Завершено сооружение радара некогерентного рассеяния на севере США. Эффективный инструмент появился на архипелаге Шпицберген. В Китае развернута беспрецедентная региональная сеть станций. Большие работы ведутся в Европе, США и других странах мира по строительству суперсовременных солнечных телескопов. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН находится в русле этих тенденций. Его реализация позволит полностью ликвидировать наше отставание и выйти на передовые рубежи в области солнечно-земной физики.

**Киселева Г.** Мегaproект — это прорыв к знаниям мирового уровня. — Газета «Наука в Сибири», 2012, №15

Иллюстрации с сайта «Природа Байкала», из Википедии и других интернет-источников

Материал подготовила Марина ХАЛИЗЕВА

# В ДИАЛОГЕ СО ВРЕМЕНЕМ



Стелла ПИСАРЕВА,  
директор Музея истории Казанского университета  
(Республика Татарстан)

**В 1946 г. студент историко-филологического факультета Казанского университета Ефим Бушканец, впоследствии профессор педагогического института, на страницах студенческой газеты «Ленинец» высказал идею создать в старейшем вузе России, основанном в 1804 г. императором Александром I, музей истории. Однако эта работа началась только в 1978 г., когда университет готовился к 175-летию.**

**Просветительскому учреждению выделили одно из самых примечательных помещений главного корпуса, построенного в 1825 г., — бывшую церковь. И уже через год, 30 ноября 1979 г., состоялось торжественное открытие музея, ставшего за 30 с небольшим лет важнейшим центром пропаганды отечественной науки и культуры.**

*Императорский Казанский университет. 30-е годы XIX в. С литографии В. Турина.*



Экспозиционный зал музея.

Экспозицию открывают документы особой исторической значимости: Утвердительная грамота в зеленом бархатном футляре, расшитом золотой нитью, с государственной печатью, на девяти страницах которой изложены задачи, права и основы учебного заведения, а также Первый устав Императорского Казанского университета, определяющий его структуру: 4 отделения (нравственных и политических, физических и математических, врачебных или медицинских, словесных наук с кафедрой восточных языков), 28 профессоров, 12 адъюнктов, 3 лектора и 3 учителя «приятных искусств». Оба оригинала подписаны 5 ноября 1804 г. Александром I.

### УГОЛОК ЛОБАЧЕВСКОГО

В основном разделе, посвященном университетской науке, одно из центральных мест занимает уголок Николая Лобачевского — создателя неевклидовой геометрии (1826 г.), ректора университета (1827–1846 гг.) с живописным портретом ученого и бытовыми предметами из геометрического кабинета, где он работал.

На небольшом столике — рукописная тетрадь незавершенного учебника по геометрии, чернильница, личная печать в виде изящной женской головки, на

оборотной стороне — дворянский герб, пожалованный математику в 1838 г., под зеленым абажуром две свечи. У стола кресло и напольные часы — по ним Лобачевский сверял время. Они по-прежнему идут: их мелодичный бой, к которому 200 лет назад прислушивался великий геометр, теперь с волнением и трепетом слушают посетители музея. В витринах — прижизненные издания его гениальных трудов, увы, не понятых современниками. Лишь выдающийся немецкий математик Карл Гаусс, по инициативе которого Лобачевского в 1842 г. избрали членом-корреспондентом Гёттингенского королевского научного общества (Германия), и венгерский геометр Янош Бойяи разделяли его взгляды. На видном месте — их портреты и медаль Гаусса.

### ИЗ ИСТОРИИ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ

Знакомство с университетскими научными школами начинается с портретной галереи и демонстрации трудов известных ученых XIX в.: ученика и преемника Лобачевского, члена-корреспондента Петербургской АН Александра Попова, работы которого были посвящены гидромеханике, академика Василия Имшенецкого, докторов наук Федора Суворова, продол-



жавшего развивать идеи неевклидовой геометрии, и Александра Васильева, чья плодотворная научная, педагогическая и организаторская деятельность (20 лет он возглавлял Казанское физико-математическое общество) способствовала углублению математических знаний. В XX в. немаловажную роль в их развитии сыграл последователь Васильева профессор Николай Парфентьев, сумевший своей эрудицией привлечь к научной работе талантливую студенческую молодежь. Рядом с трудами и фотографиями учителя и его учеников — личные вещи мэтра, в том числе малоизвестный музыкальный инструмент — цитра (нам важно было рассказать не только о профессиональных достижениях, но и по возможности раскрыть широту его кругозора, интересов, увлечений).

Одним из продолжателей дела Парфентьева стал декан физико-математического факультета университета Петр Широков (1895–1944). Основатель Казанской геометрической школы, он одним из первых среди геометров страны овладел методами тензорного исчисления (составная часть аппарата дифференциальной геометрии). Об этом напоминает изданная им в 1934 г. монография, написанная по материалам прочитанных курсов лекций. Именно он обратил внимание на одаренного студента-первокурсника физико-математического факультета Алексея Петрова, ставшего впоследствии создателем и заведующим (с 1960 г.) единственной в стране кафедры теории относительности и гравитации. В 1952–1954 гг. он доказал теорему, устанавливающую существование трех видов пространств Эйнштейна, названных

«типами Петрова», что принесло ему мировую известность. Позже выяснилось: принадлежность ко второму и третьему типам указывает на присутствие в пространстве гравитационного излучения — тем самым удалось пролить свет на один из самых сложных и запутанных вопросов общей теории относительности. Музей экспонирует Диплом лауреата Ленинской премии (1972 г.) Петрова за цикл работ «Инвариантно-групповые методы исследования теории гравитации», труды, шахматы, которым ученый посвящал свободное время.

Достойным учеником профессора Широкова был и доктор физико-математических наук Борис Лаптев (1905–1989). В 1984 г. за совокупность работ по геометрии обобщенных пространств и исследования, посвященные жизни и трудам Лобачевского, он был награжден медалью им. П.Л. Чебышева АН СССР. Повествование о научной деятельности геометра экскурсоводы музея непременно дополняют рассказом о незаурядной, яркой и обаятельной личности Лаптева, его пристрастиях и увлечениях литературой, музыкой, живописью.

В послевоенной математической жизни Казанского университета значительную роль сыграло приглашение в 1945 г. на кафедру геометрии воспитанника МГУ им. М.В. Ломоносова доктора физико-математических наук Александра Нордена, создавшего свою школу исследования обобщенных пространств. В музейной экспозиции находится его монография «Пространство афинной связности» (1950 г.), отражающая основные идеи новатора.



Личная печать  
Николая Лобачевского.



Бронзовая медаль  
«Памяти Н.И. Лобачевского.  
1895 г.»

Широкую известность университету принесла казанская алгебраическая школа во главе с членом-корреспондентом АН СССР Николаем Чеботаревым (1894–1947). Ученый достиг блестящих успехов в исследованиях, посвященных теории Галуа\*, теории групп Ли\*\*, проблеме резольвент (алгебраических уравнений). Его труды в этой области, известные у нас и за рубежом, можно увидеть в экспозиции музея. Здесь же — личные вещи Чеботарева: неизменный спутник — чемоданчик (он не признавал портфеля), железная коробочка с кусочками мела, которую он приносил с собой на лекции, кисет с махоркой, мундштук.

В копилку неоспоримых достижений университета внесли свой вклад и казанские механики: Петр Котельников (1809–1879), яркий педагог, публичные лекции которого привлекали внимание слушателей глубиной и занимательностью, его сын доктор технических наук Александр Котельников (1865–1944), заложивший основы для построения векторного исчисления и механики в неевклидовых пространствах, много сделавший для раскрытия значения трудов Лобачевского, доктор прикладной математики Ипполит Громека (1851–1889), чьи труды по механике жидких тел движения вошли во все учебники. Большое влияние на развитие точной науки оказал также член-корреспондент АН СССР Николай Четаев (1902–1959), создавший казанскую школу теории устойчивости, получившую широкое международное признание.

\*Теория Галуа — раздел алгебры, изучающий симметрии корней многочленов (прим. ред.).

\*\*Теория групп — раздел абстрактной алгебры, изучающий алгебраические структуры, называемые группами, и их свойства. С помощью групп Ли, названных в честь норвежского математика Софуса Ли (1842–1899), находят решения дифференциальных уравнений (прим. ред.).

## ОСНОВАТЕЛЬ ОБСЕРВАТОРИИ

Первые успехи в развитии астрономии, о чем рассказывает один из тематических разделов, тесно связаны с именем австрийского исследователя Иозефа Литтрова (1781–1840). Шесть лет, проведенных им в Казанском университете, завершились созданием в 1810 г. кафедры, приобретением инструментов и устройством небольшой обсерватории. В 1816 г., покидая город, Литтров в качестве преемника назвал своего ученика Ивана Симонова, имя которого вскоре стало известно научному миру: он как наблюдатель участвовал в кругосветной экспедиции на военных шлюпах «Восток» и «Мирный», проходившей в 1819–1821 гг. под началом знаменитых российских мореплавателей Фаддея Беллингаузена и Михаила Лазарева. Тогда у Южного полюса была открыта шестая часть света — Антарктида. Единственный в команде ученый, он не ограничивался астрономическими наблюдениями, а провел ряд ценных исследований и собрал большой материал по минералогии, этнографии, зоологии, гидрологии. Музей хранит редчайшие экспонаты: несколько предметов из привезенной Симоновым коллекции (кокосовый орех, музыкальный инструмент из бамбука, гребень, долото из зеленого нефрита, рыболовный крючок), зарисовку «Льдины у южного полюса», сделанную им во время плавания, барометр Фортена, астрономические часы Брегета, книги, где изложены результаты его изысканий. А в 2003 г. это собрание пополнила модель шлюпа «Восток» — подарок Центрального военно-морского музея (Санкт-Петербург).

Развитие астрономии в конце XIX в. связано с именем члена-корреспондента Петербургской АН Мариана Ковальского, крупного теоретика и талантливого наблюдателя, профессора астрономии Дмит-



Предметы из коллекции Ивана Симонова.



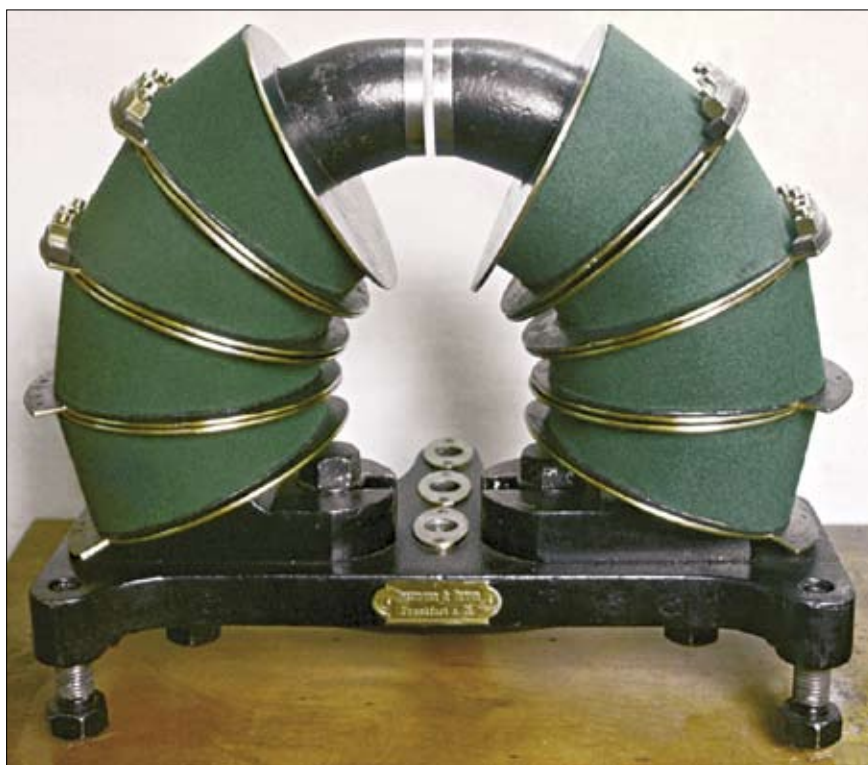
рия Дубяго — он сумел при содействии коллеги и друга члена-корреспондента Петербургской АН Василия Энгельгардта построить в 1899–1901 гг. загородную астрономическую обсерваторию. В то время Энгельгардт жил в Дрездене, где у него была прекрасно оборудованная собственная обсерватория. Многие инструменты и приборы оттуда, а также 2000 томов своей библиотеки он передал в 1897 г. Казанскому университету.

#### ФИЗИКА В ИСТОРИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ

Согласно Уставу 1804 г. в университете существовала единая кафедра физики и физической географии. В музее представлены портреты и труды ученых XIX в. академика Адольфа Купфера, положившего начало геомагнитным исследованиям, профессоров Роберта Колли и Николая Слугинова, развивавших учение об электричестве, Дмитрия Гольдгаммера —

Бронзовая медаль Гаусса,  
присланная Николаю Лобачевскому в 1856 г.





**Магнит Дюбуа**  
из лаборатории Евгения Завойского.

**Диплом на открытие**  
**электронного парамагнитного резонанса**  
**Евгением Завойским.**

его работы в области электромагнитной теории света сыграли значительную роль в построении новой теоретической оптики.

Бурному развитию науки в XX в. способствовало открытие нового явления — электронного парамагнитного резонанса (ЭПР)\*, сделанного в 1944 г. казанским физиком Евгением Завойским\*\*. Огромный интерес вызывают экспонируемые у нас магнит Дюбуа — основная часть устройства, необходимого для экспериментов по ЭПР, первые статьи новатора в «Ученых записках КГУ», рукописный отчет о работе в московском Институте физических проблем в январе 1945 г., переданный нам академиком Александром Шальниковым, макет установки для наблюдения электронного парамагнитного резонанса — подарок нобелевского лауреата 1978 г., академика Петра Капицы (его он получил от Завойского на 80-летний юбилей). Особую ценность представляет Диплом на открытие ЭПР, зарегистрированное в Государственном реестре 23 июня 1970 г. с приоритетом от 12 июля 1944 г. Обнаруженный ученым эффект поглощения радиочастотного поля в веществе послужил отправной точкой для формирования в Казанском университете крупнейшей школы радиоспектроскопии и квантовой электроники. На одной из фотографий запечатлены три ее корифея — академик Евгений Завойский и члены-корреспонденты АН



\*См.: И. Силкин. Эффект резонанса. — Наука в России, 2012, № 1 (прим. ред.).

\*\*См.: В. Попов. Первооткрыватель парамагнитного резонанса. — Наука в России, 2008, № 6 (прим. ред.).

СССР Борис Козырев и Семен Альтшулер. Последнему принадлежит также открытие акустического парамагнитного резонанса, о чем свидетельствуют представленные материалы.

### «КОЛЫБЕЛЬ РУССКОЙ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ»

Так по праву историки науки называют химическую лабораторию середины XIX в., принесшую Казанскому университету мировую славу (с ее фотографии и начинается новый раздел экспозиции). Именно здесь в 1842 г. академик Николай Зинин получил из нитробензола синтетический анилин, что положило начало промышленному органическому синтезу и стало базой для создания и развития анилино-красочной и фармацевтической промышленности. А двумя годами позже в этих стенах член-корреспондент Петербургской АН Карл Клаус, исследуя платиновую руду, открыл рутений, названный в честь

нашей страны (Ruthenia — по-латыни Россия) — первый элемент, позволивший связать азот воздуха в химическое соединение, подобно тому как это делают некоторые бактерии.

Дальнейшие успехи в этой области науки связаны с именем талантливого питомца Зинина и Клауса, основателя казанской химической школы академика Александра Бутлерова (1828–1886). Среди экспонируемых в музее раритетных вещей — первая страница его доклада на собрании немецких натуралистов и врачей в городе Шпрейере в 1861 г., где он изложил знаменитую теорию химического строения органических соединений, а также открытые им новые вещества — диоксиметилен и полученный искусственным путем метиленилан.

Идеи Бутлерова получили развитие в работах доктора химических наук Владимира Марковникова (1837–1904), членов-корреспондентов Петербургской АН Александра Зайцева (1841–1910) и Флави-

Модель шлюпа «Восток».







Предметы из китайских коллекций, привезенные учеными-востоковедами.

## УСПЕХИ В БИОЛОГИИ И ЗООЛОГИИ

В экспозиции почетное место занимает акварельный портрет немецкого ученого-энциклопедиста, первого профессора естественной истории и ботаники, доктора медицины Карла Фукса (1776–1846), 40 лет жизни посвятившего Казани, из них три десятилетия — Казанскому университету. Именно он стоял у истоков наших биологических школ.

В 1940-х годах на кафедре ботаники возникло новое научное направление — палеоботаническое, связанное с именем доктора биологических наук Владимира Баранова (1889–1967). Он систематически осуществлял сборы ископаемой флоры, главным образом третичного периода (с 65 до 1,8 млн лет назад), с последующим ее изучением. «Орудие производства» ученого — специальный молоток, образцы пород и его труды — стали экспонатами музея. Здесь же можно познакомиться с достижениями основанной в 1932 г. кафедры физиологии растений и ее создателя доктора биологических наук Алексея Алексева, а также его ученика академика Игоря Тарчевского.

В 1960-х годах в стенах учебного заведения возникла геоботаническая школа, представители которой занимались изучением растительных сообществ (фитоценозов) Земли. В зале висят портреты основателя направления академика Сергея Коржинского и его ученика члена-корреспондента АН СССР Андрея Гордягина.

Среди зоологов наибольшую известность получил уроженец Вестфалии (Германия), член-корреспондент Петербургской АН Эдуард Эверсман (1794–1860) — путешественник, географ, почвовед, ботаник, автор трехтомного труда «Естественная история Оренбургского края» (1840, 1850 и 1866 гг.). Во время экспедиций по Казанской, Самарской, Уфимской, Оренбургской, Астраханской губерниям, киргизским степям, Уралу, Алтаю естествоиспытатель собрал исключительно ценный зоогеографический материал, благодаря чему животный мир этого региона стал известен лучше, чем любого другого уголка России.

## ОСНОВОПОЛОЖНИКИ КАЗАНСКОЙ МЕДИЦИНЫ

В структуре университета 126 лет (с 1814 г.) был медицинский факультет. Одна из старейших кафедр анатомии представлена в работах профессоров Евгения Аристов, Петра Лесгафта, Владимира Тонкова, Александра Петрова, академика Василия Терновского.

На факультете зародилась крупнейшая отечественная школа нейростологии, основанная доктором медицины Карлом Арнштейном (1840–1919), традиции которой успешно развивали в XX в. доктор медицинских наук Александр Миславский, члены-корреспонденты АН СССР Борис Лаврентьев и Николай Колосов.

ана Флавицкого (1848–1917), академика Александра Арбузова (1877–1968), создателя нового направления — химии фосфорорганических соединений. В витрине — его магистерская диссертация «О строении фосфористой кислоты и ее производных» (1905 г.) и докторская «О явлениях катализа в области превращения некоторых соединений фосфора» (1915 г.). Внимание посетителей привлекают две стеклянные колбы с салициловой кислотой и аспирином. Во время Первой мировой войны (1914–1918 гг.) ощущался недостаток этих препаратов, прежде ввозимых из Германии, и Арбузов организовал на казанском заводе их производство, проявив незаурядные способности инженера-конструктора и технолога. К слову, он был также блестящим мастером стеклодувного искусства (среди экспонатов — столик, за которым он работал, изготовленная им колба), увлекался музыкой (в нашей коллекции фотография квартета скрипачей в составе ученых-химиков, его личный пюпитр, смычок, сонаты Бетховена).



**Актный зал  
Казанского университета.**



**Аудитория № 7  
юридического факультета.**

Рождение казанской терапевтической школы связано с именем выдающегося клинициста Николая Виноградова (1831–1886), а ее развитие — с работами профессоров Сергея Зимницкого, Николая Котовщикова, Александра Казем-Бека, Михаила Чебоксарова, Николая Горяева. Изобретение последнего — «камера Горяева» для подсчета форменных элементов крови — вошло в наш экспозиционный фонд.

В музее значительное место отведено основателю отечественной офтальмологии Эмилиану Адамюку (1839–1906), организовавшему первую в Казани кли-

нику глазных болезней. Рядом с его портретом — специальные очки, с помощью которых он осматривал больных, и монография «Болезни светоощущающего аппарата глаза» (1887 г.).

Основателями казанской хирургической школы, возникшей в середине XIX в., стали доктора медицины Василий Разумовский, Виктор Боголюбов, академик Александр Вишневский. Музей бережно хранит их персональные коллекции: фотографии, оттиски статей, личные вещи, хирургические инструменты, карандашный рисунок художника Юлии Разу-



Астрономические приборы XIX в.

мовской, изобразившей отца на пароходе во время поездки из Казани в Саратов, популярный учебник Боголюбова «Основы общей хирургии» (1931 г.), Диплом Вишневого об окончании Императорского Казанского университета (1899 г.), фотографии 1920-х годов, где он запечатлен во время операции, рядом — его хирургические инструменты, в витрине — «мазь Вишневого», спасшая жизнь многим раненым в годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг.

Казанская физиологическая школа — одна из старейших в России — зародилась в 1858 г., когда соответствующую кафедру университета возглавил Филипп Овсянников. Ее яркими представителями были выдающиеся физиологи, имена которых широко известны в мире: доктор медицины Николай Ковалевский (1840–1891), член-корреспондент АН СССР Николай Миславский (1854–1928), доктор медицины Владимир Бехтерев (1857–1927) — этому знаменитому врачу, заложившему основы отечественной экспериментальной психологии, способство-

вавшему открытию в 1885 г. в Казани первой в России психологической лаборатории, уделено особое место в экспозиции.

В уголке, посвященном основателю казанской электрофизиологической школы Александру Самойлову (1867–1930), центральное место занимают лабораторный столик, кресло из его рабочего кабинета, а также струнный гальванометр, с помощью которого в 1906 г. доктор зарегистрировал первую в нашей стране электрокардиограмму человека.

Среди других замечательных достижений — открытие в 1931 г. академиком Владимиром Энгельгардтом этерификации (реакции образования сложных эфиров) неорганического фосфата при дыхании — иными словами, окислительного фосфорилирования (АТФ), что стало крупным вкладом отечественных ученых в мировую науку. Рядом с фотографией первооткрывателя — манометр от дыхательного аппарата Варбурга (назван по имени немецкого биохимика и физиолога Отто Варбурга).

## КОРИФЕИ ГУМАНИТАРНОЙ МЫСЛИ

С образованием в 1837 г. юридического факультета заметный вклад в развитие отечественной правовой науки внес доктор юридических наук Дмитрий Мейер. Лекции выдающегося цивилиста были популярны не только среди студентов, их посещали многие горожане. Экспозиция дает представление о вкладе в уголовное право Александра Пионтковского, в историю и теорию права — Николая Загоскина и Гавриила Шершеневича, в историю и философию права — Антона Станиславского.

Филология, получившая развитие в университете в первой половине XIX в., представлена школой славяноведения, основанной членом-корреспондентом Петербургской АН Виктором Григоровичем, и прославленной казанской лингвистической школой, создателем которой был член-корреспондент Петербургской АН Иван Бодуэн де Куртенэ, работавший в университете в 1875—1883 гг. Вокруг выдающегося лингвиста сгруппировался так называемый «бодуэновский кружок», куда входили Николай Крушевский, Сергей Булич и член-корреспондент Петербургской АН Василий Богородицкий.

В первой половине XIX в. Казанский университет стал крупнейшим центром ориенталистики (востоковедения) в Европе. Экспозицию открывают портреты известных представителей направления: академиков Христиана Френа, создателя первой в Европе кафедры монгольского языка Осипа Ковалевского, руководителя первой в стране кафедры китайского языка Василия Васильева, заведующего кафедрой турецко-татарского языка, члена-корреспондента Петербургской АН Александра Казем-Бека, выдающегося тюрколога, профессора турецко-татарского языка Ильи Березина, основоположника научного изучения татарского языка Ибрагима Хальфина, монографии и учебники, а также предметы китайских коллекций, собранные востоковедами во время экспедиций.

В 1854 г. восточный разряд, включавший шесть кафедр, перевели в Петербургский университет. В Казани тюркология развивалась под руководством выпускника этого вуза Николая Катанова. Его докторская диссертация «Опыт исследования урянхайского языка» (1903 г.), вошедшая в золотой фонд мировой тюркологии, представлена в музее.

Посетители музея могут познакомиться с начальными литературными опытами первых студентов Сергея Аксакова и Владимира Панаева, узнать о деятелях литературы и искусства, учившихся в университете в разные годы (писателях Петре Боборыкине, Евгении Чирикове, Павле Мельникове-Печерском, поэте Велимире Хлебникове), о студенческих

годах классика мировой литературы Льва Толстого. В витрине — карандашный рисунок неизвестного художника «Толстой-студент», пожелтевшая программа спектакля «Живые картины» в Актовом зале университета в 1846 г. с участием графа Льва Толстого, две книги: «Наказ» Екатерины II и «Дух законов» Монтескье. Возможно, именно эти экземпляры были в руках писателя, когда он по заданию профессора Дмитрия Мейера проводил сравнительный анализ названных произведений.

Во все времена Казанский университет был одним из очагов демократии. В материалах музея отражены многие исторические события, к которым он был причастен: первая политическая демонстрация студентов под названием «Куртинская панихида», проходившая 16 апреля 1861 г. в казанской Куртинской церкви по «убиенным в селе Бездна крестьянам», революционная сходка с участием студента юридического факультета Владимира Ульянова 4 декабря 1887 г., позорное «Дело Лесгафта» (1871 г.), когда в знак протеста против увольнения выдающегося анатома Петра Лесгафта за его выступления с резкой критикой тогдашних порядков и произвола попечителя семь профессоров покинули университет.

Кроме основной экспозиции, в структуру нашего просветительского учреждения входит мемориальный комплекс: аудитория юридического факультета, Актовый зал, зал Николая Лобачевского и стационарная выставка «Линия научной обороны». «В музее представлена по существу очень существенная часть единой истории нашей науки. Я потрясен увиденным, тем бережным отношением к нашему славному прошлому» — к словам президента РАН Юрия Осипова, оставившего в 1998 г. эту запись в Книге отзывов, присоединяются и около полумиллиона человек, посетивших за эти годы храм науки.

*Иллюстрации предоставлены автором*



# ПРИТЯЖЕНИЕ АРКТИКИ

**К**омплексное изучение Арктики — в числе приоритетных задач Российской академии наук: ведь нашей стране принадлежит почти половина данной территории, богатой полезными ископаемыми и в условиях потепления климата перспективной в плане развития транспортных связей между Европой, Азией и Америкой. Но для поддержания современного уровня исследований необходимо их достойное финансирование, воссоздание сети отечественных полярных станций и соответствующей инфраструктуры. В настоящий момент при участии и по инициативе Сибирского отделения РАН сделаны первые шаги в этом направлении.

Фундаментальные изыскания эволюции природной среды и литосферы Арктики, проводимые СО РАН, играют весомую роль при решении ряда современных экономических и геополитических задач. Так, отечественные специалисты готовят научное обоснование гипотезы о том, что территория Сибирского арктического шельфа и область Центрально-арктических поднятий (включая хребты Ломоносова и Менделеева) в сравнительно недавнем геологическом прошлом представляли единый ансамбль континентальных структур с общей историей развития\*. Согласно международному праву эти материалы могут стать основанием для признания в 2013 г. Центрально-Арктических поднятий, находящихся за пределами двухсотмильной экономической зоны

России\*, территорией преимущественного экономического влияния нашей страны. В 2003 г. комиссия при ООН отвергла аналогичную российскую заявку, не подкрепленную соответствующими детальными данными. Сейчас новым документом заняты Научно-координационный совет РАН и Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра). От СО РАН в этой работе участвуют академик Николай Добрецов и член-корреспондент РАН Валерий Верниковский.

Задача специалистов — предоставить точные сведения о рельефе дна в спорном районе, построить геофизические профили, обозначить границу, проходящую по кромке перегиба от континентального шельфа к глубоководным равнинам. Приблизиться к пониманию эволюции Арктики им помогают геологические, палеомагнитные и радиоизотопные датировки пород. Анализируя полученные данные, ученые находят доказательства древнего возраста Арктиды — куски плиты, существующего по крайней мере с пермского\*\* времени и изначально являвшегося частью континента. В рамках подпрограммы «Комплексные исследования арктического шельфа», коорди-

\*См.: Ю. Леонов. Исследования Арктики продолжаются. — Наука в России, 2008, № 3 (прим. ред.).

\*Двухсотмильная экономическая зона — принятый Международной конференцией по морскому праву в 1972 г. юридический статус шельфовой зоны, охватывающей расстояние в 200 миль от берега краевых морей и океанов, согласно которому она объявлена суверенной территорией соответствующего государства (прим. ред.).

\*\*Пермь — последний период палеозоя. Начался 295 млн лет назад, закончился по разным оценкам 250 или 248 млн лет назад (прим. ред.).



*Лед в Арктике — голубого цвета. Фото Ю. Леонова*

нируемой академиком Добрецовым, впервые проведена сейсмотомография\* Арктики — срез на глубинах 100–220 км и 430–640 км. Этот метод, предложенный заведующим лабораторией Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, доктором геолого-минералогических наук Иваном Кулаковым, доступен даже при ограниченном числе сейсмических станций, что раньше считалось невозможным.

Арктика сказочно богата полезными ископаемыми, прежде всего нефтью и газом. Вот почему для сохранения роли стабилизатора мировых энергетических трендов нашей стране необходимо развернуть здесь серьезные геолого-разведочные работы. Об этом на пресс-конференции, состоявшейся в преддверии Дня геолога 2012 г., рассказал академик Алексей Конторович,

координатор программы Отделения наук о Земле РАН «Геологическое строение и нефтегазоносность Арктики (территории и акватории)». В настоящий момент для подобных исследований СО РАН выделяет свои средства, но для выполнения поставленных в целом задач их требуется в десятки раз больше.

В Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН высоко оценивают перспективы развития нефтегазодобывающей индустрии на территории от Новой Земли и Полярного Урала до реки Лены, включая акватории. Обобщены материалы по Ямало-Ненецкому автономному округу и Карскому морю для компании «Роснефть». Вскоре будут подготовлены рекомендации, на каких участках предстоит вести поиски черного золота. Кроме того, Институт ведет переговоры о выполнении аналогичной работы для ОАО «Газпром» по территориям полуостровов Ямал и Гыдан. Здесь колоссальные запасы голубого топлива: «Газовые залежи имеют такие размеры, что видны даже на сейсмических профилях», — отметил Конторович.

\*Сейсмическая томография позволяет по характеристикам пропущенного через исследуемый объект сейсмического излучения (физические поля, воздействующие на сейсмические приборы) судить о его внутреннем устройстве, физическом состоянии или химическом составе (прим. ред.).

Самый крупный освоенный промышленный центр в Арктике — север Западной Сибири, где на месторождениях Медвежье, Уренгой, Ямбург, Надым добывают свыше 25% мировых запасов голубого топлива. Теперь с больших глубин стал поступать так называемый «жирный» газ, содержащий помимо метана, являющегося основой энергетики, еще и этан, пропан, бутан, т.е. прекрасное сырье для нефтехимической промышленности. Ранее Советский Союз занимал второе место в мире по производству продуктов этой индустрии, и ныне Россия получает возможность вновь укрепить свои позиции в данной сфере.

В прошлом отечественная нефтехимия была сориентирована на использование бензиновой фракции нефти. Но сейчас, при условии максимально полной утилизации попутного газа, специалисты Института нефтегазовой геологии и геофизики видят перспективы для создания новой, уникальной сырьевой базы: ведь только в Ямало-Ненецком автономном округе этана будут добывать вдвое-втрое больше, чем в США. В связи с этим ученые подготовили специальную программу и передали ее в Министерство энергетики. В ближайшее время соответствующие материалы рассмотрит Правительство РФ.

Разумеется, весь попутный газ невозможно переработать на Ямале, поэтому сибиряки предложили создать систему продуктопроводов для перегонки его излишков в Татарстан и на северо-запад страны. Конторович вместе с коллегами считают, что появление данного сырья для нефтехимии будет способствовать созданию новых технологий, а это потребует больших государственных и частных инвестиций.

Сибирские ученые ведут исследования и на севере Красноярского края. Здесь быстро развивается Ванкорское нефтяное месторождение, которое будет давать до 25 млн т, а вся территория в целом — до 40 млн т черного золота. Между реками Енисеем и Хатангой (в так называемом Енисей-Хатангском региональном прогибе) открыты газовые залежи, и специалисты прогнозируют наличие здесь нефти. Кроме того, сотрудники упомянутого института, обработав и проанализировав архивный геофизический и сейсмический материал по району Лено-Анабарского прогиба на берегу моря Лаптевых, обнаружили здесь три мощных самостоятельных нефтегазовых района и рекомендовали проведение геологической разведки. Данные изыскания отчасти финансируются за счет средств, получаемых самим институтом в сотрудничестве с крупнейшими российскими и зарубежными нефтегазовыми компаниями.

По оценкам академика Конторовича и его коллег, добыча нефти в мире будет постоянно расти вплоть до 2030–2040-х годов, а обеспечить это можно, лишь активно работая в Арктике.

Однако этому мешает отсутствие здесь инфраструктуры, в значительной мере утраченной за последние 25 лет. Так порты Тикси, Певек, Игарка,

**Освоение Арктики невозможно  
без мощного ледокольного флота.**









**Поиск и добыча полезных ископаемых в Арктике осложнены суровыми природными условиями.**

некоторые другие функционируют лишь на 10% былой мощности. К тому же местные отечественные полярные станции серьезно уступают норвежским (Шпицберген), датским (Гренландия), канадским и американским (Аляска и Баффинова Земля).

Правда, в 2011 г. на острове Самойловский в дельте реки Лены построена современная российская научная станция, заменившая «избушку на курьих ножках». Ныне здесь есть и жилые помещения на 50 человек, и энергоблок, и хранилище для транспортных средств. На этом объекте несколько лет работает совместная российско-германская экспедиция, и соответствующие исследования несомненно будут продолжены.

Однако России нужна сеть опорных станций в Арктике. Пока же у нас есть лишь разрозненные объекты: на Шпицбергене (тут требуется модернизация), на Земле Франца-Иосифа (ученые здесь работают редко). «Налетом в Арктике много не сделаешь, — говорит академик Николай Добрецов. — Нужна сеть таких станций, на которых люди могут жить и работать длительное время». Это важнейшее условие грамотного мониторинга климата, криолитозоны и пр.

Сегодня специалисты установили, что тяжелые паковые\* (многолетние) льды до 2007 г. уменьшались из-за потепления климата, а затем на фоне более холодных зим вновь начали расти. Иными словами, концепция глобального потепления полученными данными не подтверждается. И в ближайшее столетие колебания температур продолжатся, криолитозона будет местами разрушаться, местами, наоборот, увеличиваться. А к концу столетия начнется общее похолодание. Для уточнения этого прогноза и нужна сеть станций в Арктике, которую академик Добрецов называет «кухней погоды».

\*Паковый лед — морской лед толщиной не менее 3 м, просуществовавший более 2 годовых циклов нарастания и таяния (прим. ред.).

**Михайлова В.** Сказочно богатая Арктика.  
— Газета «Наука в Сибири», 2012, № 13

Иллюстрации из архива журнала «Наука в России»  
и интернет-источников

Материал подготовила **Евгения СИДОРОВА**