



83 Сохранившиеся до наших дней предметы материальной культуры той или иной эпохи содержат в себе косвенную информацию об особенностях ее декоративного искусства. В данном случае речь идет об эпохе Мерovingов – их держава была на пороге средневековья крупнейшим «варварским» государством в Европе.

44

Угроза гибели коралловых рифов, испытывающих гнет природных и антропогенных воздействий, волнует многие государства, в том числе Вьетнам. И с целью восстановления этих древних экосистем российские и вьетнамские ученые проводят эксперименты по выращиванию кораллов в естественных условиях.



89

У слияния рек Тоймы и Камы стоит Елабуга – один из красивейших и древнейших малых городов России.



Основы географии возникли в Древнем Египте и Месопотамии, затем были развиты в Древней Греции. В целом же за прошедшие века эта фундаментальная наука вобрала в себя огромный пласт знаний о Земле, особенно во времена Великих географических открытий (XVI-XVIII вв.) и в эпоху познания малодоступных уголков разных континентов (XIX – первая половина XX в.). Но каково ее место сегодня? И нужна ли она, когда в основном все природные объекты, существующие на нашей планете, известны, а ее поверхность постоянно «наблюдает» множество космических аппаратов? Однако работы современных специалистов доказывают: у этой науки большие перспективы.

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-7, 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 012.01.2012.
Заказ № 2813

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



СОДЕРЖАНИЕ

ПРОБЛЕМЫ. ПОИСК. РЕШЕНИЯ

Ефанов В., Мартынов М., Пичхадзе К.

Космические роботы для научных исследований4

Сенин И. Биосенсоры в фармакологии15

Сиренко Б., Гагаев С.

Под ледяным покровом Южного океана23

ТЕХНИКА XXI ВЕКА

Хализева М.

«Радиоастрон» приблизит дальний космос33

Малыгина М. «Сосудистый» лазер в дерматологии40

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Латыпов Ю. Наша задача –

спасти коралловые рифы44

ТОЧКА ЗРЕНИЯ

Никишин А. Геологическая история Земли53

У НАС В ГОСТЯХ

Матишов Г., Балыкин П., Пономарева Е.

Рыболовство и аквакультура России64

Котляков В. География – одна из основ

современного естествознания72

ИСТОРИЯ НАУКИ

Кулаков В.

Античная традиция в искусстве эпохи Мерovingов83

ВРЕМЕНА И ЛЮДИ

Базанова О. Купеческая столица Прикамья89

Счастливцев В., Родионов Д., Хлебникова Ю.

Тайны златоустовского металла97

ПУТЕШЕСТВИЯ ПО МУЗЕЯМ

Силкин И. Эффект резонанса105

ПАНОРАМА ПЕЧАТИ

«Союз» стартует с экватора12

Диагностировать рак поможет молибден20

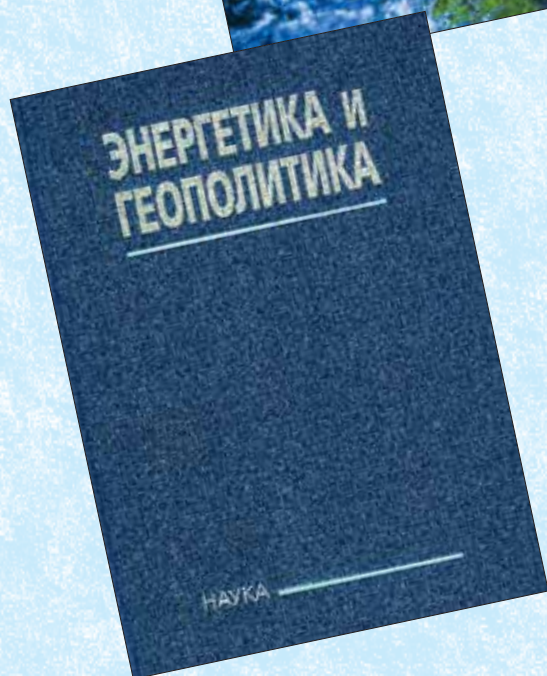
Лазерные диоды –

перспективные источники излучения38

Новые технологии береговой защиты51

Освоение Удоканского месторождения61

Проблемы современного леса81



В книге представлен труд видных ученых и государственных деятелей России и Франции. Дан широкий ретроспективный анализ усиления роли энергетики в геополитике, определены новые вызовы, возникшие в конце XX — начале XXI в. при глобализации экономики и энергетики, и возможные ответы на них мирового сообщества. Эти проблемы трактуются как с позиций национальной энергетической безопасности, так и в аспекте обеспечения глобальной энергетической безопасности. Роль энергетики в геополитике детально анализируется применительно к взаимоотношениям Европейского союза и Российской Федерации. Они наиболее ярко демонстрируют политические коллизии между крупными государственными образованиями, которые природой (географией и геологией) «обречены» на сотрудничество в области энергетики, но их отношения столетиями омрачались взаимными подозрениями и напряженностями в политике. Проведен подробный анализ основных положений энергетических стратегий ЕС и России, их внутренних и внешних приоритетов в увязке с международной политикой. Дан обзор технологических прорывов, способных уменьшить воздействие фактора эксклюзивности энергетических ресурсов по регионам мира и секторам использования и тем самым ослабить влияние энергетики на геополитику. Для энергетиков, экономистов-международников и государственных деятелей.

Энергетика и геополитика /
под ред. В.В. Костюка, А.А. Макарова;
Российская академия наук. — М. : Наука, 2011. —
397 с. — ISBN 978-5-02-037498— 0 (в пер.).

©Российская академия наук, 2011
©Редакционно-издательское оформление.
Издательство «Наука», 2011

КОСМИЧЕСКИЕ РОБОТЫ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

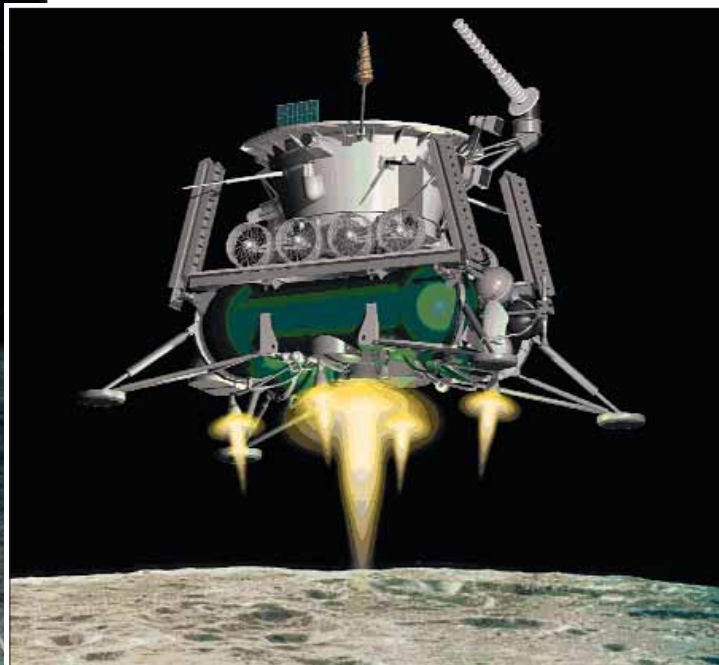
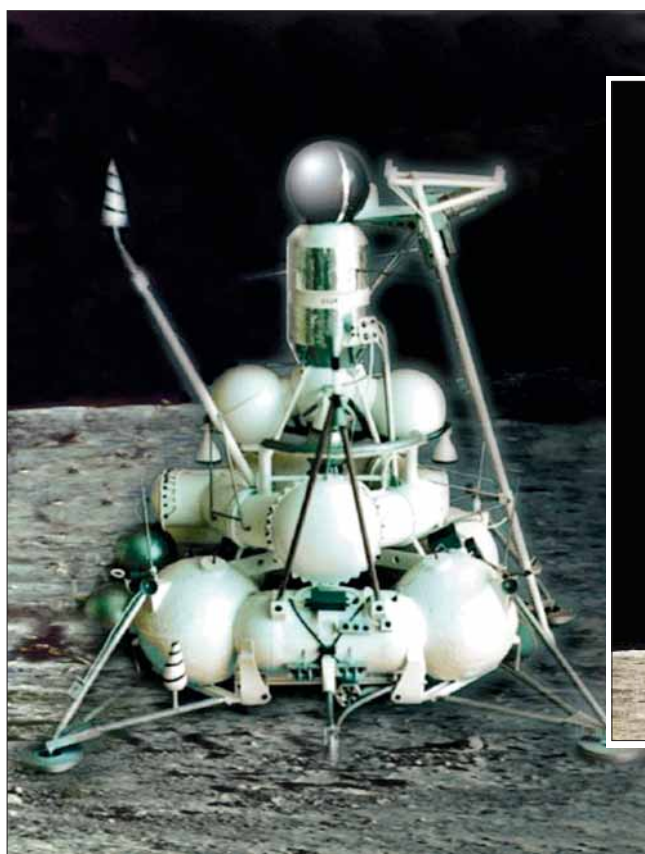
Доктор технических наук Владимир ЕФАНОВ,
заместитель руководителя ОКБ по науке,
кандидат технических наук Максим МАРТЫНОВ,
заместитель генерального конструктора, руководитель ОКБ,
доктор технических наук Константин ПИЧХАДЗЕ,
первый заместитель генерального конструктора
и генерального директора Научно-производственного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

**Космическая фундаментальная наука зародилась
чуть более 50 лет назад. За это историческое мгновение
сделано огромное количество открытий.**

**Такой прорыв стал возможен благодаря выводу
научных инструментов за пределы Земли и ее гравитационного поля
с помощью автоматических космических аппаратов.**

Началом истории проведения рассматриваемых исследований можно считать 1957 г. Уже на третьем искусственном спутнике Земли, запущенном 15 мая 1958 г., устанавливались соответствующие научные приборы. Существенным развитием этого направления можно считать 1965 г., когда созданная совместными усилиями Ракетно-космической корпорации «Энергия» и НПО им. С.А. Лавочкина (в то время ОКБ-1 и Машиностроительный завод им. С.А. Ла-

вочкина) автоматическая станция «Луна-9» совершила мягкую посадку на естественный спутник Земли. Подчеркнем: все предыдущие запуски роботов на Луну, Марс, Венеру имели лишь частичный успех из-за отказов ракет-носителей или бортовой аппаратуры. А в 1965 г. наше предприятие стало головным по созданию автоматических космических аппаратов для фундаментальных исследований (до этого оно успешно осваивало авиационную и ракетную тематику).



Космические аппараты «Луна-16» (слева);
«Луна-17 с Луноходом-1» (справа).

ОТ «ЛУНЫ-16» ДО «ГРАНАТА»

Во второй половине прошлого столетия нами были созданы космические аппараты, обеспечившие стране приоритет по ряду направлений. Вот некоторые из них: «Луна-16» — доставка на Землю в автоматическом режиме лунного грунта; «Луна-17» — мобильная исследовательская лаборатория «Луноход-1»; «Венера-7» и «Марс-3» осуществили мягкие посадки на одноименные планеты; «Венера-9, -10» — на Земле получены черно-белые изображения поверхности соответствующих мест посадок; «Венера-13, -14» — благодаря им стали реальностями цветные панорамные изображения окружающей местности, взяты пробы грунта и проведен их химический анализ; «Венера-15» — радиолокационное картирование северного полушария этой планеты; «Вега-1, -2» — доставили аэростатные зонды в атмосферу Венеры и передали на Землю изображение ядра кометы Галлея.

Кроме того, в этот же период запущено более 10 аппаратов серий «Прогноз» и «Интербол» для исследования Солнца, солнечно-земных связей и магнитосферы Земли. А в 1980-е годы были созданы уникальные орбитальные астрофизические обсерватории «Астрон» и «Гранат».

«Астрон» запустили 23 марта 1983 г., и его научная программа включала в себя исследование в ультрафиолетовом диапазоне спектра электромагнитного излучения звезд, рентгеновских источников с проведением обзора небесной сферы, одновременное про-

ведение наблюдений в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах излучения и др. За пять лет активного функционирования обсерватории с ее помощью сделано значительное число приоритетных научных открытий в астрономии и астрофизике.

«Гранат» стартовал 1 декабря 1989 г. и его научная программа включала в себя построение изображений с высоким разрешением и высокой чувствительностью участков небесной сферы в гамма- и рентгеновском спектрах электромагнитного излучения, локализацию дискретных источников рентгеновского и гамма-излучений, исследование спектральных характеристик излучения космических источников рентгеновского и гамма-излучения, а также фоновое рентгеновского излучения и др.

В последние пятнадцать лет запусков российских специализированных полностью автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований не производили, что, прежде всего, связано со сложной экономической ситуацией в нашей стране. И лишь к 2006 г. была разработана и утверждена Правительством РФ широкомасштабная Федеральная космическая программа на 2006–2015 гг.

СОВРЕМЕННЫЕ РЕАЛИИ

Фактически осуществление запусков полномасштабных автоматических аппаратов для фундаментальных и прикладных научных исследований у нас началось в 2011 г. (Отметим, что в предыдущие годы



Космический аппарат «Вега-1».

были завершены этапы проектно-конструкторских работ, испытаний и изготовления космических станций.)

20 января 2011 г. был запущен геостационарный гидрометеорологический спутник нового поколения «Электро-Л», предназначенный для Росгидромета и Всемирной метеорологической организации. Каждые полчаса круглосуточно он передает на наземные станции многоспектральные изображения облачно-

сти и подстилающей поверхности всего диска Земли в видимом и инфракрасном диапазонах.

Периодичность съемок по командам с Земли может быть доведена до 10-15 мин. Эти изображения имеют научно-прикладной характер; на основании их проводится анализ и прогноз погоды, определяются состояние акваторий морей и океанов, условия для полета воздушных судов. На «Электро-Л» возла-



Космический аппарат «Электро-Л».

гаются также задачи ретрансляции и обмена метеоинформацией, приема и ретрансляции данных от автономных метеорологических платформ и сигналов аварийных буев системы КОСПАС-SARSAT. Наконец, по датчикам, размещенным на этом аппарате, уточняются гелиофизические прогнозы.

18 июля 2011 г. стартовала орбитальная астрофизическая обсерватория «Спектр-Р-Радиоастрон» с 10-метровой рефлекторной антенной, которая вместе с крупнейшими наземными радиотелескопами и станциями слежения образует систему, позволяющую впервые проводить соответствующие наблюдения с разрешением в миллионы раз лучше человеческого глаза. Эта система представляет собой космический радиоинтерферометр с базой намного больше размеров Земли, что приводит к очень высокому угловому разрешению при наблюдении весьма отдаленных источников.

Отметим, орбита данного спутника выбрана с таким расчетом, что она специальным образом эволюционирует под действием Луны. Средний орбитальный период — 9,5 дней (изменение периода от 7 до 10 дней), половина большой оси — 189 000 км, накло-

нение орбиты — 51° . Радиус перигея от 10 000 до 70 000 км, апогея от 310 000 до 390 000 км.

Основная научная задача описанного космического радиотелескопа — исследование структуры и динамики космических источников радиоизлучения с угловым разрешением до микросекунды дуги. И еще. На «Радиоастроне» также установлен научный комплекс «Плазма-Ф», предназначенный для изучения турбулентности солнечного ветра в малоисследованном диапазоне частот межпланетного магнитного поля и солнечных космических лучей.

Следует отметить, что оба названных космических аппарата созданы на одной орбитальной платформе «Навигатор», которая в будущем станет базовой для всех последующих больших искусственных спутников Земли, создаваемых в НПО им. С.А. Лавочкина. Такой подход реально обеспечит выполнение запусков, входящих в Федеральную космическую программу-2015.

Интересен для науки и запуск созданного нами космического аппарата «Фобос-Грунт». Дело в том, что на многие фундаментальные вопросы о строении и образовании Земли, о формировании ее оболочек, о за-



Космический аппарат «Спектр-Р».

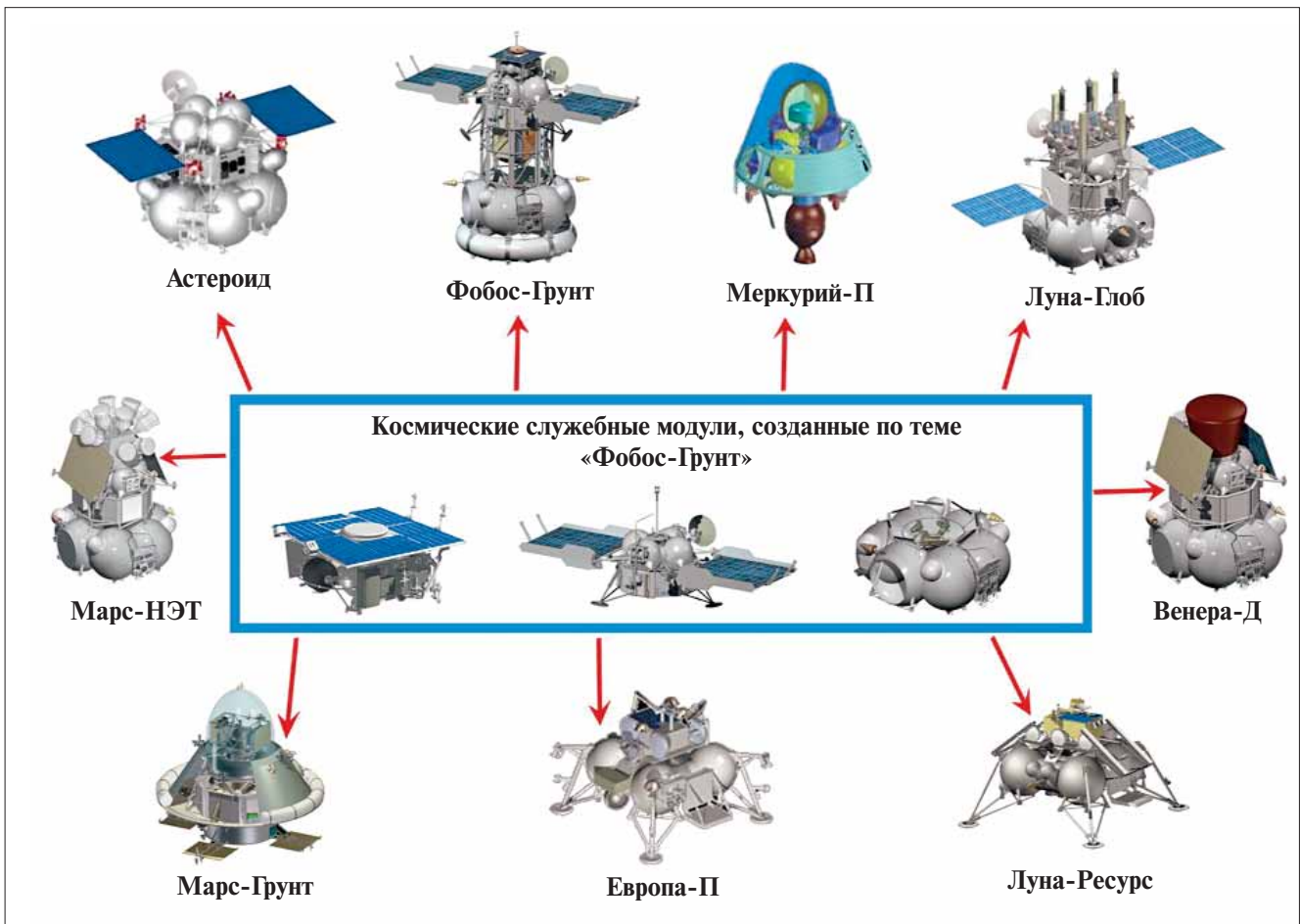
рождении и развитии жизни нельзя ответить только в рамках исследования земного вещества. Для этого необходимы знания о составе вещества и строении планет Солнечной системы, малых тел (в том числе спутников), метеоритов и других космических микрочастиц. На получение такого рода новых знаний как раз и направлены экспедиция «Фобос-Грунт» и перспективные аппараты «Луна-Глоб», «Луна-Ресурс-1, -2».

Эти проекты предусматривают доставку на Землю вещества с Фобоса — спутника Марса и с Луны. Исследование грунта первого даст ответы на важнейшие вопросы мироздания, в том числе, было ли протопланетное облако там, где формировались планеты земной группы и происходило это однородно или гетерогенно; правильно ли сегодняшнее допущение о составе первичного вещества Земли? Сформировались ли Марс и Фобос из единого газопылевого сгустка или спутники планет захвачены из первоначального хаоса? Каков характер первичного органического вещества в этой области, имело ли оно отношение к зарождению жизни? Подчеркнем: в данном случае

именно Фобос важен для таких исследований, ибо он не претерпел плавления и магнетического воздействия, и доставленное с него вещество будет иметь точные координаты в Солнечной системе.

Следует отметить, что, помимо указанных выше, будут проводиться дистанционные исследования Марса и Фобоса, а последнего также и контактными методами. Несколько приборов, установленных на аппарате, станут изучать реголит Фобоса непосредственно в области его посадки, причем из разных мест в радиусе ~1 м. Вместе с тем будут проводиться исследования характеристик Фобоса как небесного тела (уточнение его формы и массы, гравитационного и магнитного полей и т.д.), околомарсианского пространства, для чего вместе с нашим роботом доставят китайский микроспутник УН-1. Предстоит изучить покоящиеся формы биологических объектов в условиях длительного межпланетного полета (эксперимент «Биофобос») и др.

Помимо научных задач перед описанным аппаратом стоит и инженерно-техническая задача — прове-



сти летные испытания межпланетных платформ, созданных в рамках проекта «Фобос-Грунт» для других космических экспедиций.

ПЕРСПЕКТИВЫ

В настоящее время все ведущие страны, занимающиеся космосом, вносят в свои перспективные планы углубленное изучение Луны. Мотивируется это целесообразностью начала прикладных исследований по освоению ее ресурсов и созданию как внеземных баз для пилотируемых полетов на Марс, так и научных полигонов, особенно астрофизических.

По нашему мнению, на среднесрочную перспективу до начала колонизации Луны человеком ключевую роль должны играть автоматические средства.

В соответствии с Федеральной космической программой-2015 ныне разрабатываются соответствующие аппараты для нескольких экспедиций с различными научными целями. Это проекты с реализацией в 2013-2014 гг., что обеспечит возможность должной координации с другими странами. Вместе с тем использование международной кооперации позволит не только повысить научную отдачу, но и оптимизировать временные и финансовые затраты.

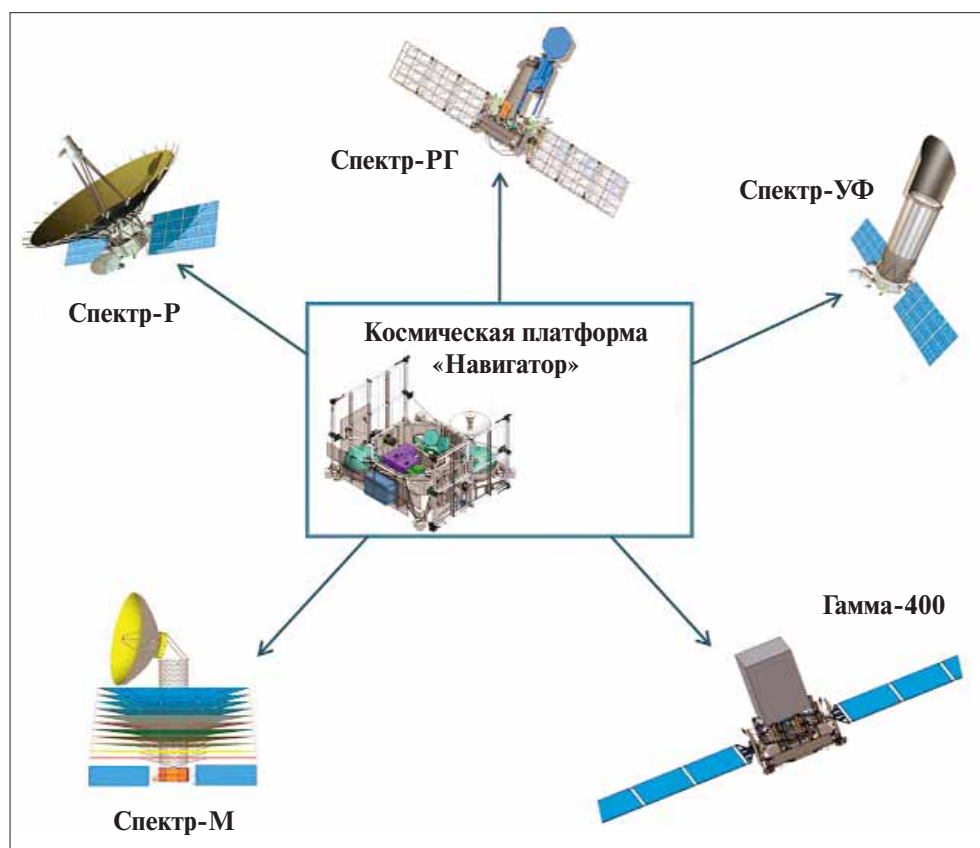
Помимо этого на дальнейшую перспективу целесообразно нацелить контактные исследования в приполярном районе Луны с помощью многофункционального лунохода по отбору из определенных предварительно изученных мест образцов лунного вещества и доставки их на Землю, по созданию неподалеку от них полигона для отработки технологических методов переработки местного грунта, выделения из него определенных элементов, доставки их на Землю, проведению широкого спектра научных работ, в том числе астрофизических. Особенно интересно расположить радиотелескоп на обратной стороне Луны.

Приведем краткое описание проектов по изучению Луны, планет и малых тел Солнечной системы:

- «Луна-Ресурс-1» — контактные исследования с помощью посадочной станции и малоразмерного индийского лунохода (запуск — 2013 г.);

- «Луна-Глоб» — широкомасштабное изучение Луны с орбиты ее искусственного спутника и на самой поверхности (запуск — 2014 г.);

- «Луна-Ресурс-2» — продолжение контактных исследований в приполярных областях с доставкой многофункционального лунохода;



Применение космической платформы «Навигатор» с астрофизическими космическими аппаратами.

— «Лунный полигон» — проведение долгосрочных научных и технологических исследований;

— «Венера-Д» — долговременные исследования этой планеты и ее атмосферы орбитальным и посадочным аппаратами, а также аэростатными зондами (запуск — 2016 г.);

— «Марс-НЭТ» — непрерывный и глобальный мониторинг климата, сейсмообстановки и навигационное обеспечение экспедиций на Красную планету орбитальным аппаратом и посадочными станциями (запуск — 2016 г.);

— «Апофис» — уточнение траектории угрожающего Земле одноименного астероида путем установки на нем радиомаяка и других маркеров для высокоточного его сопровождения, а также для понимания его структурных и физических свойств (запуск — 2020 г.);

— «Экспедиция-М» — доставка на Землю образцов вещества Марса, детальный геохимический анализ его грунта, а также уточнение моделей атмосферы и поверхности (запуск — 2020 г.);

— «Лаплас-Европа П» — исследование Юпитера и его спутника Европа, дистанционно с направленного туда робота, а затем контактными методами с посадочного зонда на спутник, взятие проб вещества поверхности для изучения состава и выявления признаков экзобиологической активности (запуск — 2020 г.);

— «Меркурий-П» — исследование морфологии, околопланетной плазмы, геологии, структуры и поверхности этой планеты, проведение картографии,

химического анализа грунта, сеймики, гравиметрии (запуск — 2020 г.).

Отметим: все перечисленные межпланетные аппараты проектируются на одних служебных модулях, созданных НПО им. С.А. Лавочкина для «Фобос-Грунт».

В Федеральной космической программе-2015 уделено также значительное внимание созданию орбитальных установок для астрофизических и астрономических исследований. Они создаются на базе космической платформы «Навигатор». Кратко опишем эти аппараты:

— «Спектр-РГ» — изучение Вселенной в рентгеновском и гамма-диапазонах электромагнитного излучения (запуск — 2013 г.);

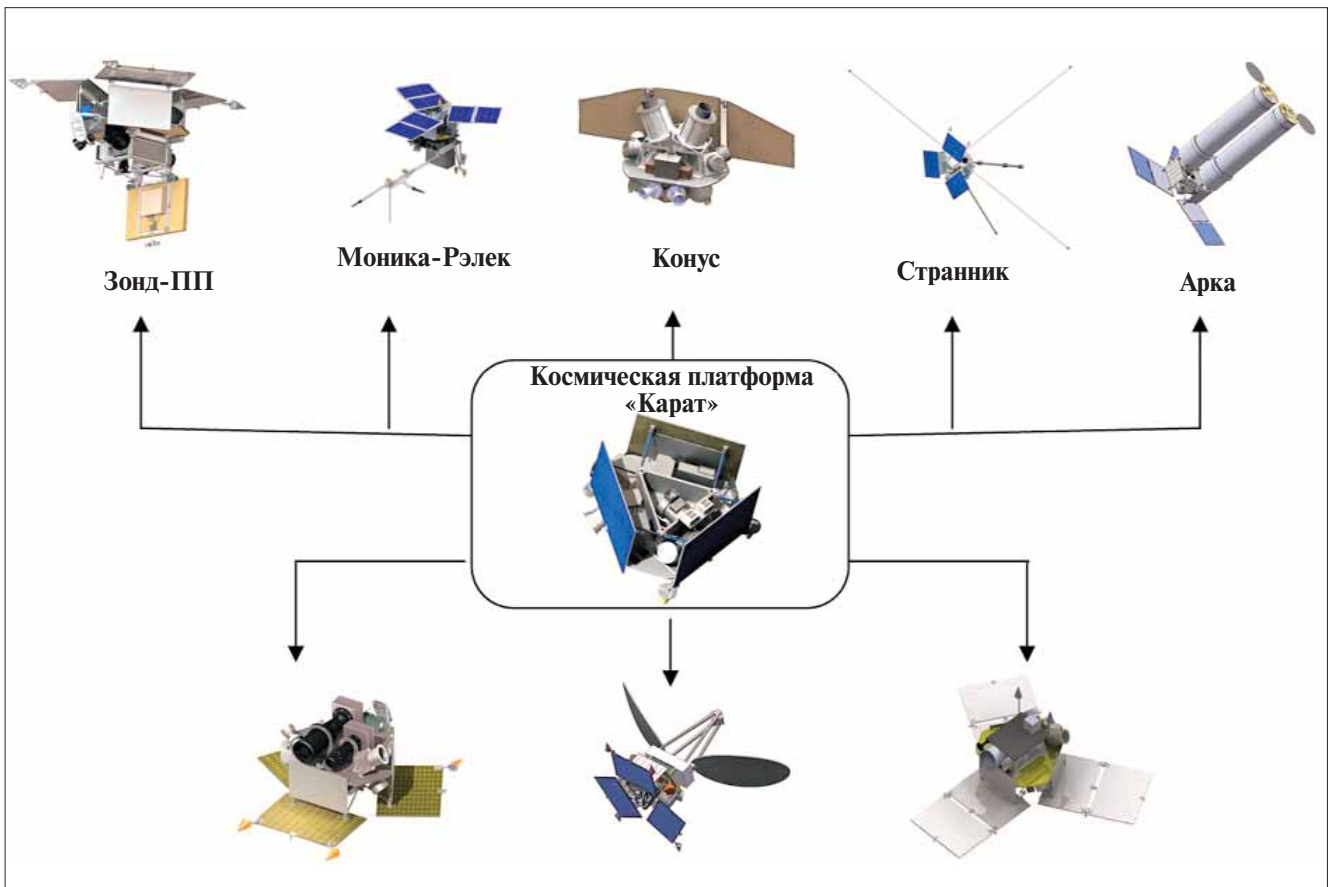
— «Спектр-УФ» — изучение Вселенной в ультрафиолетовом диапазоне электромагнитного излучения (запуск — 2015 г.);

— «Гамма-400» — измерение космического гамма-излучения в диапазоне энергий $0,1-3 \cdot 10^3$ ГэВ (запуск — 2015 г.);

— «Спектр-М» — изучение Вселенной в миллиметровом, субмиллиметровом и инфракрасном диапазонах электромагнитного излучения (запуск 2018 г.).

Планируется также в недалеком будущем запуск «Интергелиозонда» для исследования Солнца с относительно близкого расстояния.

Отдельно следует остановиться на новом, весьма перспективном направлении космонавтики — разра-



Адаптация универсальной платформы «Карат» к межпланетным космическим аппаратам.

ботка малоразмерных космических аппаратов для научных исследований. Проведенный анализ требований, накладываемых к ним как к служебным системам и базовой платформе в целом, позволил унифицировать необходимые для них параметры и в результате создать малоразмерную универсальную космическую платформу «Карат». Кроме того, в Федеральной космической программе-2015 предусмотрено создание серии подобных средств, способных выполнять исследования, которые еще недавно были по силам лишь полноразмерным аппаратам. Научные эксперименты для них разрабатываются ведущими научными учреждениями: Институт космических исследований РАН; Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН; Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН; Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН; Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ; Московский инженерно-физический институт и др. Первая группа таких устройств на базе платформы «Карат» состоит из:

- «Зонд-ПП» — изучение характеристик земной поверхности спутниковым радиометром L-диапазона (запуск — 2012 г.);
- «Моника» и «Рэлек» — изучение физических механизмов генерации космических лучей и физичес-

ких механизмов воздействия энергичных частиц солнечного, магнитосферного и атмосферного происхождения на атмосферу Земли (запуск — 2012 г.);

- «Конус-М» — исследование с высоким разрешением временных профилей спектров гамма-всплесков (запуск — 2013 г.).

Всего такого рода спутников предполагается создать свыше десяти. Масса каждого из этих аппаратов на орбите не превышает 250 кг. На этой же платформе создается аппарат «Резонанс» для изучения магнитосферы Земли и солнечно-земных связей.

Реализация описанной в статье программы фундаментальных космических исследований обеспечит России достойное положение в мировом научно-космическом сообществе.

Иллюстрации предоставлены авторами

«СОЮЗ» СТАРТУЕТ С ЭКВАТОРА



В Гвианском космическом центре, расположенном вблизи города Куру во Французской Гвиане (Южная Америка), 7 мая 2011 г. прошла торжественная церемония передачи концерну «Arianespace» (Франция) «ключей» от стартового комплекса «Союз» для вывода на орбиту космических аппаратов, построенного российскими специалистами.

Проект общей стоимостью 344 млн евро реализует Европейское космическое агентство (ESA) и «Роскосмос» на основании межправительственного соглашения между Францией и Россией, подписанного в 2003 г. Специально для этих целей в Государственном научно-производственном ракетно-космическом центре «ЦСКБ-Прогресс» (г. Самара) разработали трехступенчатую ракету-носитель «Союз-СТ», а в Научно-производственном объединении им. С.А. Лавочкина (г. Химки Московской области) — разгонный блок «Фрегат-СБ». Комплекс расположился в 10 км от площадки, с которой отправляют на орбиту европейские ракеты «Ариан-5». Наш сегмент занимает территорию ~2 км².

Получив «прописку» в Южной Америке, «Союз» будет единственным в мире носителем, стартующим из трех стран — России (Плесецк), Казахстана (Байконур) и Французской Гвианы (Куру). Уже в ближайшее

время наша техника выведет на орбиту два спутника для европейской навигационной системы «Галилео». Об особенностях перспективного для освоения космического пространства проекта рассказала обозреватель «Российской газеты» Наталия Ячменникова.

«Союз-СТ», отметила она, спроектирован на базе модифицированного варианта ракеты Р-7*, созданной в 60-х годах XX в. При этом аппарат полностью адаптирован к требованиям французского космодрома по системам безопасности, телеизмерений и условий эксплуатации в экваториальной зоне. Разработчики использовали для него новую элементную базу, комплектующие и металлы, выдерживающие тропический климат (температура 34°C, влажность 90% и выше). Даже покраску оборудования проводили по специальной методике.

К слову, сборку «Союза-СТ» будут осуществлять на старте, причем в вертикальном положении. Она принципиально отличается от «горизонтальной» технологии, традиционно используемой на Байконуре и в Плесецке. Для этого здесь соорудили мобильную башню обслуживания — 50-метровое сооружение с девятью площадками. Суммарный вес металлоконст-

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



Ракета-носитель «Союз-СТ». Фото ESA, CNES, Arianespace.

рукций — 743 т. Наши проектанты, проявив изобретательность (новую методику расчета), собрали ее «на пальцах», т.е. на подвижных элементах. И только в скомпонованном виде башня приобретет необходимую жесткость. Ее главное назначение — обеспечить установку головной части и разгонного блока «Фрегат» на третью ступень вертикально расположенной ракеты-носителя, создать комфортную работу боевого расчета на агрегатах старта, не допустить нагрева техники прямыми солнечными лучами и, наконец, защитить аппарат и обслуживающий персонал от частых в этих широтах тропических дождей. Дело в том, что в Южной Америке, где обосновался данный космодром, среднегодовое количество осадков достигает 3000 мм, а в сезонное время в Гвиане за сутки выпадает более 500 мм воды — без «крыши» здесь не обойтись. Все это вкупе позволит осуществлять с экваториального порта запуски космических аппаратов любых видов.

Европа, пишет Ячменникова, давно присматривалась к «Союзу». Ведь это не только российская космическая «рабочая лошадка», но и самая массовая ракета в мире — крепкая, недорогая и надежная. Вот почему для ее коммерческой эксплуатации в 1996 г. было создано совместное российско-французское пред-

приятие «Starsem»*. Первоначально в качестве места старта рассматривался только космодром Байконур, но затем появилась идея перенести запуски в Куру. Расположение стартовой площадки около экватора (5°14' с.ш., 52°46' в.д.) идеально с точки зрения баллистики. Внесение изменений в траекторию движения спутников в этом случае минимально. Нельзя забывать и о действующем в данной зоне эффекте «пращи», при котором энергия создается вращением Земли вокруг своей оси. А это — дополнительная скорость в 460 м/с (1656 км/ч), экономия топлива и денег. В конечном счете, благодаря экваториальному расположению космодрома «Союз-СТ» сможет выводить на геостационарную орбиту спутники массой в 2,5–3 раза больше, чем при запуске с Байконура, т.е. не 1,5 т полезной нагрузки, а все 4.

В выигрыше и европейцы, заметила Ячменникова: в дополнение к тяжелым носителям «Ариан-5» и легким «Вега» они получили самую надежную в мире ракету среднего класса, в «копилке» которой более 1700 запусков. При помощи российской техники ответственный эксплуатант — концерн «Arianespace» — рассчитывает осуществлять от двух до четырех стартов в год.

*См.: Ю. Марков. Космические версты России и Франции. — Наука в России, 2006, № 6 (прим. ред.).



**Стартовый комплекс для коммерческих запусков космических аппаратов
во Французской Гвиане (Южная Америка).**

Контракт действует до 31 декабря 2016 г. или до полного выполнения сторонами своих обязательств. При этом «Arianespace» подтвердила также заинтересованность в реализации перспективных проектов, связанных с использованием наших носителей на Байконуре.

Как отметил на церемонии передачи сооружений стартового комплекса генеральный директор Европейского космического агентства Жан-Жак Дорден, «Союз» в Гвианском центре — замечательный пример космического сотрудничества России и Европы. Кстати, четыре года назад на месте строительства объекта появился камень с «гагаринского старта», ставший еще одним символом российско-европейской кооперации в области космоса. Сейчас на нем установлена памятная доска с надписью: «Этот камень привезен с космодрома Байконур, откуда 12 апреля 1961 года отправился в космос Юрий Гагарин»*.

Запуски спутников из Французской Гвианы распланы на годы вперед. «Arianespace» уже запросила у

российских партнеров 23 носителя. Сейчас в портфеле ее заказов — 18 стартов «Союзов», в том числе выведение на орбиту 14 аппаратов «Галилео». Более того, европейцы надеются, что когда-нибудь отсюда в космос отправится и человек. И тогда Куру станет вторым, тропическим Байконуром.

От редакции

В октябре 2011 г. российский носитель «Союз-СТ» успешно стартовал с космодрома во Французской Гвиане. Это первый запуск отечественной ракеты, совершенный за пределами бывшего СССР. «Союз» вывел на орбиту два спутника европейской системы глобального позиционирования «Галилео».

Яценникова Н. Ключ на старт! — «Российская газета», 2011, № 129

Иллюстрации с сайта «Роскосмоса»

Материал подготовила Марина ХАЛИЗЕВА

*См.: Ю. Марков. Космодром Байконур 50 лет на службе человечества. — Наука в России, 2005, № 3 (прим. ред.).

БИОСЕНСОРЫ В ФАРМАКОЛОГИИ

Доктор химических наук Иван СЕНИН,
руководитель лаборатории зрительной рецепции
Научно-исследовательского института
физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского
Московского государственного университета
им. М.В. Ломоносова

Понять причины возникновения различных заболеваний, найти способы их терапии невозможно без мониторинга биологических процессов. Одним из инструментов в этом случае служат биосенсоры – чувствительные элементы, распознающие биологические объекты. В НИИ физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ удалось создать прототип такого устройства, позволяющего в реальном времени изучать важнейший класс белков-рецепторов, которые контролируют большинство физиологических процессов в организме. Не случайно почти половина всех применяемых в настоящее время лекарств имеют своими мишенями именно эти белки. Надеемся, что на основе предложенного нами подхода станет реальным скрининг большого количества молекул для выявления перспективных лекарств с заданными свойствами.

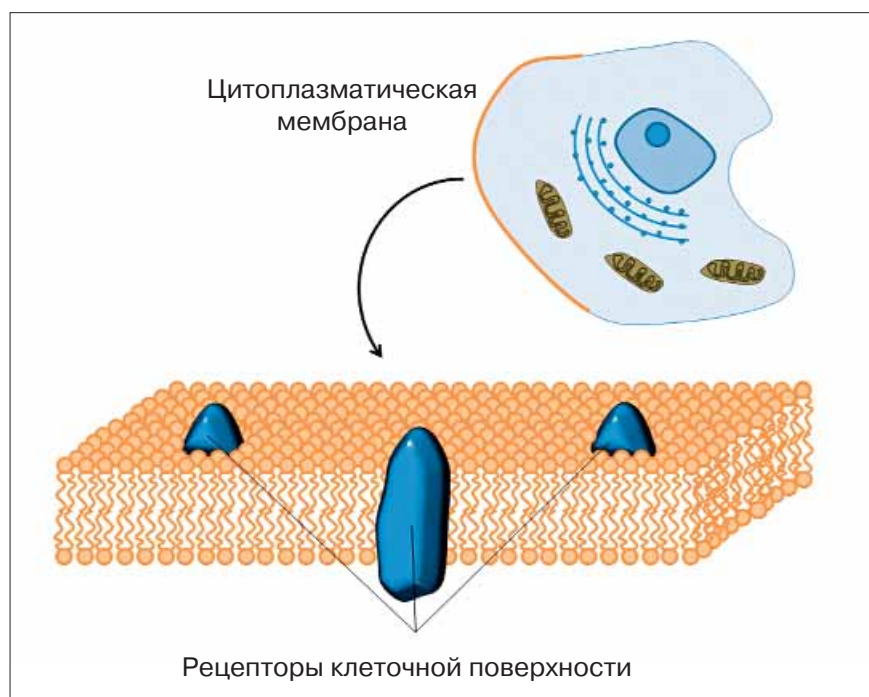
БЕЛКИ-ПЕРЕДАТЧИКИ

Способность воспринимать информацию из окружающего мира — одно из важнейших свойств живых организмов, благодаря чему они могут к нему адаптироваться, находить пищу, чувствовать тепло и холод. Понятно, что утрата возможности правильно «читать» внешние сигналы губительна.

У человека, как и других многоклеточных, имеется два основных уровня восприятия сигналов. Организм как целое получает информацию из внешней

среды с помощью зрения, слуха и других органов чувств. А вот составляющие его клетки — лишь за счет постоянного общения друг с другом. В основном — на языке химии, представленной разнообразными первичными мессенджерами («связными»), в том числе гормонами, нейротрансмитами*, бел-

*Нейротрансммиттеры (нейромедиаторы) — биологически активные химические вещества, посредством которых осуществляется передача электрического импульса с нервной клетки через синаптическое пространство между нейронами (*прим. ред.*).



**Схематический разрез
клеточной мембраны.**

ковыми факторами. Таким образом, клетки организма не живут обособленно, их поведение зависит от присутствия соседей и регулируется путем межклеточных контактов. Они должны уметь «договариваться» друг с другом так, чтобы их метаболизм, пролиферация (размножение) и гибель, локализация в том или ином органе или ткани, прочие функции и характеристики подчинялись прежде всего интересам указанного сообщества. Если оно здорово, наблюдается гармония между его членами, в частности существует определенное равновесие между ходом пролиферации клеток и их естественной гибелью (апоптозом). Когда контроль за этими противоположно направленными процессами нарушен, то при преобладании апоптоза наступает дегенерация тканей, а в случае победы клеточного индивидуализма и безудержной пролиферации клеток возникает раковая опухоль, что ведет к гибели всего организма.

Возникает резонный вопрос: каким же образом клетки «чувствуют» изменения в окружающей их среде? Ведь внешние сигналы не способны проникнуть в них напрямую, поскольку они защищены снаружи плазматической мембраной: несмотря на небольшую толщину, она служит достаточно надежным препятствием для многих молекул, в том числе и сигнальных. Оказывается, в большинстве случаев последние не проникают внутрь клетки, а специфически взаимодействуют с ее наружной поверхностью, точнее, с особым семейством белков — рецепторами, локализованными во внешней клеточной мембране. Сигнальные же молекулы лишь инициируют передачу импульсов через нее, активируя рецепторы и действуя на них обычно при очень низких концентрациях, порядка 10^{-8} М и ниже.

Существует несколько типов указанных рецепторов, однако наибольший интерес в настоящее время представляют сопряженные с G-белками (специалисты обозначают их GPCR — G-protein coupled receptors) — их насчитывается свыше 800. При всем их разнообразии GPCR представляют собой мономерные интегральные белки, полипептидная цепь которых семь раз пересекает клеточную мембрану.

Находясь в мембране, GPCR взаимодействуют с молекулами, ответственными за межклеточную коммуникацию, в частности гормонами и нейромедиаторами. Когда один из рецепторов встречается с такой молекулой, он передает сигнал через мембрану, что, в свою очередь, инициирует соответствующий ответ со стороны клетки.

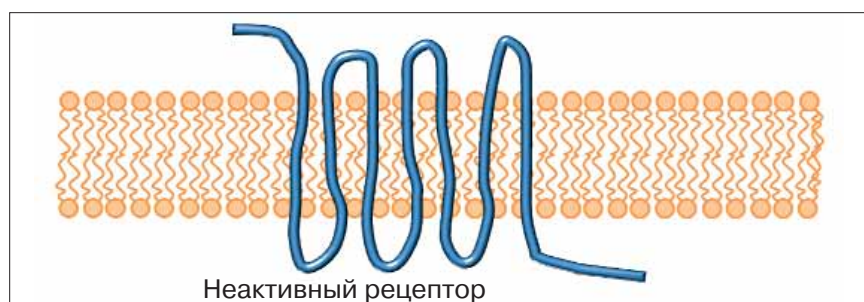
Для фармакологии этот тип рецепторов наиболее интересен благодаря их ключевой роли в схемах межклеточного биохимического взаимодействия, отвечающих за управление важными для здоровья функциями, включая сердечную и легочную деятельность, пищеварение и воспалительные реакции, а также восприятие, память и даже эмоциональную сферу.

КАК СОЗДАЮТСЯ ЛЕКАРСТВА?

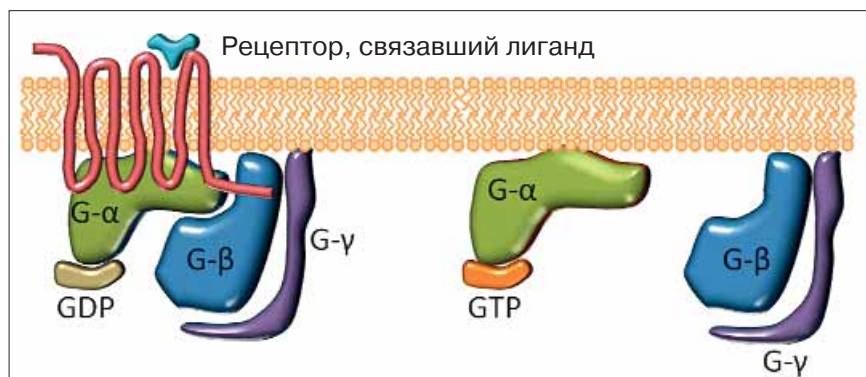
Итак, мы представили общую картину одного из основных механизмов, благодаря которому клетки организма воспринимают внешние сигналы. И любое нарушение функционирования GPCR приводит к частичной или полной потере регуляции метаболических процессов, что становится причиной возникновения тяжелых заболеваний.

На современном этапе развития биологии и медицины появляются новые подходы для изучения нормально протекающих процессов жизнедеятельности

Рецептор, сопряженный с G-белком.



Неактивный рецептор



Механизм активации рецептора, сопряженного с G-белком.

организма человека, а также для активного и контролируемого вмешательства в них при различных патологиях. Нельзя не упомянуть в этой связи такие направления, как биоинформатика и биоинженерия, объединившие в себе достижения различных областей науки, включая математику, физику, химию и др. Однако несмотря на быстро растущий объем знаний, процесс создания наукоемких лекарств, в частности тех, мишенями для которых являются GPCR, остается очень дорогостоящим и трудоемким: в среднем разработка одного препарата занимает около 15 лет.

Почему же так долог путь к успеху? Дело в том, что на первом этапе поиска потенциальных лекарств, взаимодействующих с GPCR, специалисты изучают влияние на мишень соединений, выбранных случайным образом. Проверяют избирательную активность сотен тысяч и даже миллионов химических веществ. В результате отбирают небольшое их количество с последующей оценкой не только собственно воздействия на мишень, но и побочных эффектов, токсичности, других свойств. И только после тщательной проверки и разработки технологии промышленного синтеза конкретное соединение может быть допущено к клиническим испытаниям.

Из вышесказанного становится ясно, что длительность «рождения» лекарства во многом зависит от этапа, на котором проводится анализ огромного числа химических веществ. Из-за этого в настоящее время возникает необходимость поиска нетривиальных подходов с тем, чтобы проводить мониторинг и детектирование биологических процессов на этапе скрининга (отбора) с минимальными временными затратами. И одно из направлений развития соответствующей технологии — создание и применение уже

упоминавшихся в начале статьи биосенсоров — чувствительных элементов, распознающих различные биологические объекты. При этом детекция взаимодействий осуществляется высокочувствительным методом спектроскопии поверхностного плазмонного резонанса* (ППР) — о его сути пойдет речь ниже.

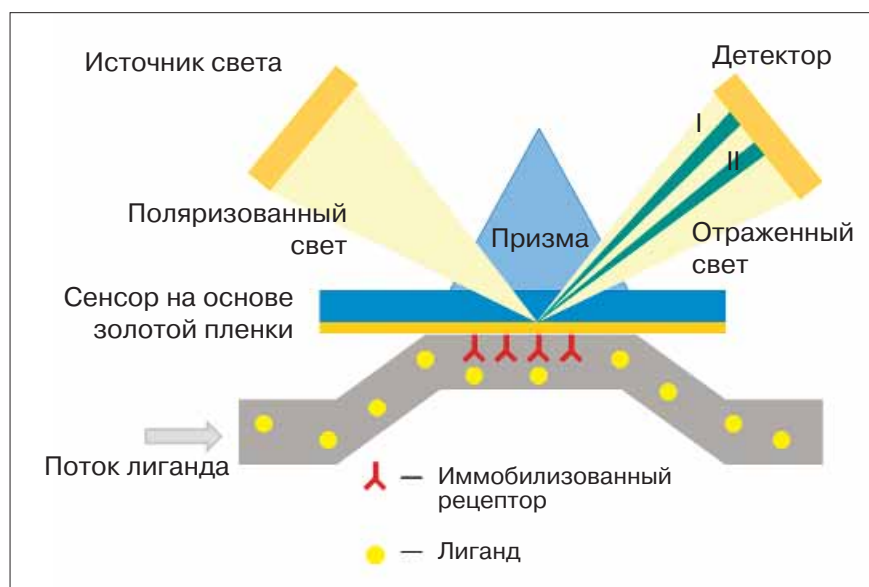
МОНИТОРИНГ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Биосенсор — сложное технологическое устройство, в котором иммобилизованный на твердофазной поверхности биологический материал реагирует на присутствие определяемого компонента и инициирует сигнал пропорционально концентрации или количеству этого компонента. В общем виде биосенсор состоит из двух основных «блоков»: один выполняет функцию распознавания, а другой, инструментальный, выступает в роли преобразователя сигнала связывания в некую физическую величину. С этим может справиться прибор, в основе которого лежит метод спектроскопии ППР, позволяющий осуществлять мониторинг за взаимодействиями биологических молекул в режиме реального времени. В качестве чувствительных элементов, иммобилизуемых на твердофазных носителях в виде молекулярного монослоя, могут выступать липиды, нуклеиновые кислоты и белки.

Принцип ППР-спектроскопии заключается в следующем. Взаимодействие двух лигандов** происхо-

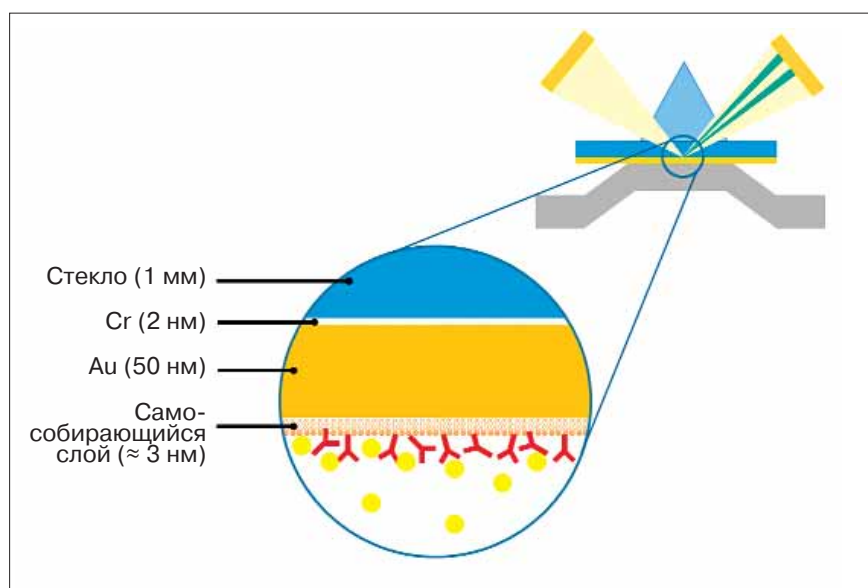
*Плазмонный резонанс — возбуждение поверхностного плазмона (квазичастицы) на его резонансной частоте внешней электромагнитной волной (прим. ред.).

**Лиганды (от лат. ligo — связываю) — вещества, способные обратимо образовывать между собой сложные комплексы (прим. ред.).



Принцип метода спектроскопии поверхностного плазмонного резонанса.

Поперечный срез твердофазного биосенсора с иммобилизованным рецептором.



дит на поверхности специального чипа, причем один должен быть на ней иммобилизован, а другой — находится в растворе, контактирующем с поверхностью того же чипа. Именно на нее фокусируется поток световых лучей, падающих под различными углами. И при определенном значении угла поверхность чипа (обычно используется тончайшая золотая или серебряная пленка) способна поглощать этот свет. Связывание с ней лиганда меняет ее поглощающие свойства, что приводит к изменению первоначального значения указанного угла. Сами же изменения непрерывно регистрируются ППР-спектрометром и выражаются в относительных единицах связывания (resonance units, RU) — прямо пропорционально количеству присоединенного лиганда.

В настоящее время этот аналитический метод широко используют для мониторинга разного рода по-

верхностных взаимодействий, в том числе антитело-антиген*, белков с нуклеиновыми кислотами, гибридизации ДНК и РНК, адсорбции малых молекул и т.д. Прямые измерения межмолекулярных взаимодействий с использованием спектроскопии ППР превосходят по чувствительности многие традиционные способы. Еще одно ее преимущество — быстрота проводимых измерений, что позволяет в несколько раз сократить время на исследования.

Впрочем, несмотря на свою эффективность до настоящего времени спектроскопия ППР из-за некоторых ограничений не нашла должного применения

*Антитела (иммуноглобулины) — растворимые сложные белки гликопротеины, присутствующие в сыворотке крови, тканевой жидкости или на клеточной мембране; они распознают и связывают антигены — чужеродные, вредные для организма вещества (прим. ред.).

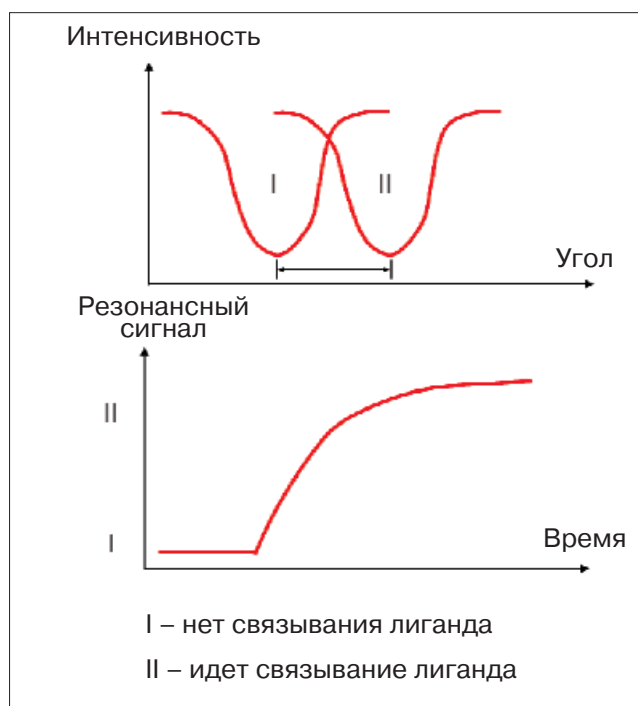
**Сигнал связывания рецептора
на биосенсоре с лигандом.**

для изучения GPCR. Но за последние несколько лет нам удалось, решив ряд методологических проблем, ограничения снять, и тем самым открыть возможности уже в ближайшей перспективе приступить к использованию этого метода для масштабных скринингов при поиске новых лекарственных препаратов.

ПОИСК ПРОТОТИПА

Следует отметить, что необходимым условием применения биосенсорных твердофазных носителей для изучения свойств мембранных рецепторов является правильное расположение и стабильность последних на поверхности носителя. Еще один важный фактор — фиксация рецептора в виде гомогенного монослоя в неактивированной форме, поскольку это позволяет провести активацию непосредственно на поверхности биосенсора, что открывает возможность изучать процессы трансдукции (преобразования и усиления) сигнала в режиме реального времени. Наконец, требуется обеспечить повторное использование системы, т.е. проведение многократных циклов иммобилизации и анализа, в связи с чем важно предложить способ регенерации активированного рецептора на поверхности биосенсора.

Недавно нами был разработан новый метод иммобилизации на поверхность твердофазного носителя зрительного рецептора родопсина*, типичного представителя семейства GPCR. На матрицу мы наносили компонент, способный обратимо связывать данный белок за счет нековалентных взаимодействий. В роли такого связующего использовали моноклональные антитела. Правда, потом выяснилось, что такой сенсор не позволяет проводить многократные циклы иммобилизации и анализа. После 5-8 циклов нарушается правильная структура антител и уже нельзя регенерировать рецепторный слой. Поэтому в качестве основного мы выбрали другой способ, основанный на взаимодействии родопсина с лектином конкавалином** (ConA). Для этого последний ковалентно присоединяли к матрице носителя и на полученный монослой «крепили» молекулы темнового неактивированного родопсина в ориентации, делающей цитоплазматический домен рецептора доступным для взаимодействия с G-белком трансдукцином — он участвует в передаче светового сигнала с поверхности клеток. Работоспособность полученного биосенсора мы проверили с помощью ППР-спектроскопии. В результате подачи трансдукцина в темноте не наблюдалось увеличение ППР-сигнала, что говорит об отсутствии взаимодействия лигандов. Однако при воздействии лазером (длина волны 532 нм) индуцирова-



лось значительное увеличение ППР-сигнала, что указывало на фотоактивацию молекул родопсина на поверхности биосенсора и связывание с ними трансдукцина. Поскольку данный биосенсор не только правильно функционировал, но и отличался высокой стабильностью, способностью к многократной регенерации (> 50 циклов), описанная выше технология его конструирования была признана удачной.

В дальнейшем мы планируем использовать разработанный подход для иммобилизации и исследования мутантных форм родопсина, ассоциированных с различными зрительными заболеваниями**. Добавим, что применение указанной технологии открывает перспективу создания аналогичных биосенсоров на основе других рецепторов, сопряженных с G-белками. Это позволит уже в ближайшее время проводить скрининг большого количества молекул для выявления перспективных лекарств с заданными свойствами, мишенями для которых выступают рецепторы, сопряженные с G-белками.

*См.: И. Сенин, В. Еричев, В. Скулачев. Митоинженерия в офтальмологии. — Наука в России, 2011, № 2 (прим. ред.).

*Родопсин (зрительный пурпур) — светочувствительный сложный белок, основной зрительный пигмент палочковых клеток сетчатки глаза у позвоночных животных и человека (прим. ред.).

**Лектины — белки, обладающие свойством специфично и обратимо связывать углеводы в биополимерах; конкавалин — растительная форма лектина (прим. ред.).

ДИАГНОСТИРОВАТЬ РАК ПОМОЖЕТ МОЛИБДЕН

Город Мелекес (с 1972 г. Димитровград) в Ульяновской области своим вторым рождением обязан строительству в 1956 г. Научно-исследовательского института атомных реакторов. Инициатива исходила тогда от академика Игоря Курчатова* — нашей стране нужен был центр для инженерных и научных изысканий по различным проблемам атомной энергетики.

Сегодня здесь располагаются шесть экспериментальных реакторов, в том числе высокопоточный исследовательский реактор СМ, запущенный еще в 1961 г. Уникальна конструкция его активной зоны — чуть более 50 л, с так называемой водяной ловушкой, что обеспечивает беспрецедентно высокую плотность потока нейтронов. Тепловая мощность установки 100 МВт, т.е. 2 МВт на литр — очень много! Чтобы снять тепло, вода прокачивается сквозь тепловыделяющие сборки со скоростью 13 м/с — около 2,5 тыс. т в час. Давление в корпусе — 50 атм. Именно на этом реакторе было впервые установлено время жизни свободного нейтрона. А еще активная зона СМ позволяет проводить самые изощренные материаловедческие эксперименты, испытывать различные технологические решения и т.д. Так, за счет тонкой регулировки нейтронного потока можно нарабатывать весьма экзотические вещества. Например, изотоп кюрия-248: мишени из этого материала использовали в 2000 г. физики Объединенного института ядерных исследований в Дубне** в экспериментах по получению 116-го элемента таблицы Менделеева.

*См.: Е. Велихов. Его мечта — создать солнце на Земле — Наука в России, 2003, № 1 (прим. ред.).

**См.: А. Сисакян. Мировая слава Дубны. — Наука в России, 2006, № 2 (прим. ред.).

А недавно для исследовательских установок в Димитровграде поставили новую задачу. Дело в том, что в Ульяновской области реализуется масштабный проект в сфере развития ядерной медицины — промышленное производство короткоживущих изотопов для создания фармакологических препаратов, в первую очередь изотопа молибдена-99. Поблизости с институтом будет построен Федеральный центр медицинской радиологии, способный принять до 40 тыс. больных в год (аналогичные структуры на базе ведущих научных ядерных центров страны создаются также в Томске и Обнинске).

Почему же внимание специалистов привлек именно молибден-99? Для ответа на этот вопрос не обойтись без данных статистики. По данным Министерства здравоохранения и социального развития РФ, рост количества онкологических больных в нашей стране составил более 16% за последние 10 лет. Летальность от различных форм рака увеличилась до 13,8% и стала второй по значимости причиной смертности населения России. На учете в онкологических учреждениях состоят свыше 2,5 млн пациентов — 1,8% населения в целом. При этом более 60% впервые регистрируемых выявляются на третьей и четвертой стадиях заболевания, т.е. когда оно слишком запущено. Предлагаемый выход — ранняя диагностика на основе использования изотопной продукции.

Обязательное условие развития ядерной медицины — обеспечение безопасности пациента. Для этого необходимо применять короткоживущие и ультракороткоживущие радиофармпрепараты. Тут-то и возникает спрос на молибден-99. Однако он важен не сам по себе, а для получения короткоживущего изо-



В экспериментальном реакторе СМ (красный квадрат) идет облучение мишеней.

топа — технеция-99. Медицина использует уникальные свойства последнего — мягкое воздействие на организм человека в сочетании с возможностью выявления заболевания на самых ранних стадиях. Не случайно по данным Всемирной ядерной ассоциации с использованием технеция сейчас в мире проводят до 30 млн подобных процедур в год.

Россия — мировой поставщик изотопной продукции, на экспорт идет свыше 70% от общего объема производимых в нашей стране стабильных и радиоактивных изотопов. Однако рынок молибдена традиционно был поделен между Канадой, европейскими странами и ЮАР. Но у Канады, которая ранее удовлетворяла до 40% мировой потребности в данном веществе, недавно возникли проблемы с основным реактором-наработчиком, и ниша освободилась. И госкорпорация «Росатом» не замедлила занять ее в течение двух лет, что было поддержано комиссией по модернизации и технологическому развитию экономики при президенте России. В рамках отечественной программы по ядерной медицине в Димитровграде было создано промышленное производство молибдена-99 на площадке Государственного научного центра НИИ атомных реакторов. «Совершенно реально, что мы можем стать крупнейшим в мире поставщиком молибдена», — уверен директор института Владимир Троянов. Дефицит медицинского изотопа на мировом рынке сейчас превышает 30% при средних потребностях до 12 тыс. кюри в неделю (продукцию изотопного производства измеряют не в граммах, на вес, а в единицах активности материалов — кюри). При этом цены на молибден-99 доходили до 1500 дол. за кюри.

«В нашем институте этот радионуклид получают путем облучения в реакторе специальных урановых

мишеней (по конструкции это обычные тепловыделяющие сборки, только миниатюрные, с высокой степенью обогащения по изотопу U-235), — рассказал директор отделения радионуклидных источников и препаратов того же института Ростислав Кузнецов. — Следующий этап — радиохимическое выделение. В так называемых горячих камерах облученные мишени растворяются в щелочи, при этом молибден остается в растворе, а уран вместе с большой группой осколков деления переходит в осадок. Полученный молибден-99 естественным образом распадается и образует другой радионуклид — технеций-99 с периодом полураспада 6 ч. Два названных вещества формируют так называемую генераторную пару. С помощью специальных генераторов можно эффективно и быстро разделить эти изотопы. При этом молибден-99 остается в неподвижном состоянии в хроматографической колонке, а технеций переходит в раствор. Последний используется для синтеза радиофармацевтических препаратов. У нас это делают непосредственно в клиниках — на месте употребления. А на Западе развита сеть централизованных ядерных аптек. Но это возможно лишь в тех случаях, когда лечебное учреждение расположено неподалеку».

18 декабря 2010 г. была запущена первая очередь производства и начата поставка молибдена-99 для канадской фирмы Nordion. Эта фаза проекта предусматривает выход на объем 800 кюри в неделю. Вторая, которую планируют реализовать в 2012–2013 гг., предусматривает увеличение мощности производства до 2500 кюри в неделю, что составит около 20% объема мирового рынка указанного продукта.

Технеций — наиболее удобная метка для протонной эмиссионной томографии (ПЭТ). Но пока потреб-



2,5 ч нужно, чтобы в специальных камерах растворить мишень и выделить молибден-99.

ность населения страны в диагностике на ее основе удовлетворяется лишь на 1-5%. В России работают всего 7 соответствующих центров, в то время как по оценкам специалистов их нужно не менее 140. И прежде всего онкологическим больным. Для сравнения: в США сейчас действует свыше 2 тыс. ПЭТ-центров. И по данным ВОЗ выживаемость онкологических больных спустя пять лет после выявления у них рака составляет в этой стране 62%, а в России не достигает 43%.

Сегодня в мире уже применяют свыше 130 методов радиодиагностики на самой современной аппаратуре. Правда, в нашей стране пока используют не более 30 из них и то лишь в ведущих научно-исследовательских медицинских учреждениях. В той или иной степени функционируют свыше 100 подразделений радионуклидной диагностики, где проводят исследования *in vivo* (введение препаратов непосредственно пациенту), более 200 лабораторий для радиоиммунологического анализа проб крови (*in vitro*) и лишь одно специализированное отделение радионуклидной терапии. А ведь по международным стандартам подобные диагностические подразделения должны быть как минимум в каждой многопрофильной больнице, а лечебные отделения — во всех крупных онкологических центрах.

Чтобы исправить ситуацию, «Росатом» совместно с профильными ведомствами предлагает принять программу развития в России ядерной медицины. По утверждениям ее разработчиков, это позволит решить ряд важнейших задач, в том числе повысить качество и сделать доступнее диагностику онкологических и кардиологических заболеваний, модернизировать и оснастить необходимым оборудованием медицинские учреждения для эффективного лечения таких пациентов и, конечно, должным образом обучить специалистов.

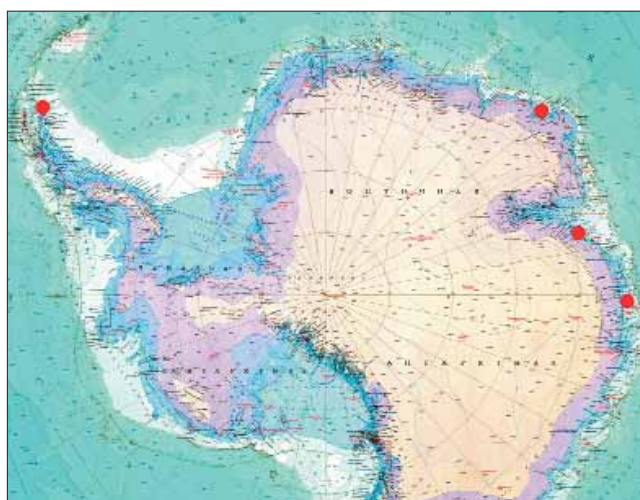
А кроме того, реализация программы приведет к развитию рынка радиофармпрепаратов в стране за счет увеличения объема заказов. Как результат — цены на такие препараты снизятся.

*Ваганов А. Молибден для внутреннего употребления. — Независимая газета (НГ-наука), 2011, № 10;
Емельяненко А. Атом исцеляющий. — Российская газета, 2011, № 5592*

Фото с интернет-сайтов «Независимой газеты» и «Российской газеты»

Материал подготовил Сергей МАКАРОВ

ПОД ЛЕДЯНЫМ ПОКРОВОМ ЮЖНОГО ОКЕАНА



Доктор биологических наук Борис СИРЕНКО,
заведующий лабораторией морских исследований
Зоологического института РАН (Санкт-Петербург),
кандидат биологических наук Сергей ГАГАЕВ,
старший научный сотрудник той же лаборатории

**В ходе 52-й и 54-й Российских антарктических экспедиций
(2006–2008, 2008–2010 гг.)**

**группой водолазов-исследователей из Зоологического института РАН
заложены основы гидробиологического мониторинга
в заливе Прюдс моря Содружества.**

**В итоге изучения биоценозов на глубинах от 3 до 43 м
собраны богатые материалы,
включающие около 600 видов донных растений и животных
прибрежных вод шестого континента,
выявлены особенности распределения на нем флоры и фауны.**

*Районы работ водолазных экспедиций Зоологического института РАН
с 1965 по 2009 г. (красные точки).*



Профессор Александр Голиков – автор количественного водолазного метода. Фото О. Новикова

НЕМНОГО ИСТОРИИ

Отечественные водолазные исследования в Антарктике начались в середине XX в. В летний сезон 1965–1966 гг. группа в составе ее руководителя Михаила Проппа, Александра Пушкина (Мурманский морской биологический институт АН СССР), Евгения Грузова (Зоологический институт АН СССР) провела в прибрежных водах вблизи станции Мирный более 160 погружений. Под двухметровым припайным льдом на глубинах до 50 м специалисты открыли в высшей степени разнообразный и обильный подводный мир.

Результаты работ оказались настолько значительными и интересными, что спустя год гидробиологический отряд был вновь включен в состав Советской антарктической экспедиции. В него вошли руководитель Евгений Грузов, водолаз Александр Пушкин, инженеры по подводному оборудованию Валентин Люлеев и Сергей Рыбаков. Районы изысканий — Южные Шетландские острова, остров Петра I, акватории вблизи станций Молодежная, Мирный, Новолазаревская.

В экспедиции 1970–1972 гг. работы продолжили помимо Евгения Грузова Юрий Гигиняк, Александр Шереметевский, Валентин Люлеев, Сергей Рыбаков, Владимир Андронников. Нельзя не отдать должное мужеству всех названных специалистов: они были одними из первых в деле изучения подводного мира Антарктики.

Затем, к сожалению, в этих работах наступил длительный перерыв: на протяжении последующих 30 лет все силы нашей лаборатории были сконцентрированы на подводных исследованиях в российских морях Арктики и Дальнего Востока. И лишь в середине первого десятилетия XXI в. появилась возможность возобновления водолазных гидробиологических изысканий в Антарктике. Ее и реализовали со-

трудники Зоологического института РАН — авторы данной статьи и Владислав Джурицкий в сезон 2006–2007 гг. в районе станции Прогресс. А в сезон 2008–2009 гг. при участии наших коллег Владислава Потина, Федора Кобекова и Павла Игнатова удалось завершить закладку основ биологического мониторинга в заливе Прюдс.

ПО МЕТОДУ ГОЛИКОВА

Изменение климата и возрастающее антропогенное воздействие на биоту в последние годы обостряют необходимость мониторинга окружающей среды. Для организации биологической его составляющей нужно изучить исходное состояние входящих в экосистему сообществ.

Почему же такой мониторинг важен и в Антарктике, где следы вмешательства человека в природу пока незначительны? Да, здешние экосистемы находятся вдалеке от крупных промышленных центров. Их состав и распределение флоры и фауны практически не подвержены антропогенному влиянию, а зависят в основном от природных факторов. Однако такое положение может измениться уже в ближайшем будущем.

Официально территория Антарктиды еще не поделена между государствами мира, но некоторые уже заявили претензии на различные ее секторы. В последние годы возросло количество стран, впервые организовавших станции на ледовом континенте, а уже давно их построившие активно наращивают свое присутствие. Например, чилийцы строят аэропорт и морской порт, китайцы на своих базах — трехэтажные дома, причалы, подъездные дороги и пр. С каждым годом возрастает число присутствующих здесь специалистов. Динамика этих процессов очевидна. И для того чтобы иметь представление о степени воздействия деятельности человека на здешнюю природу в бу-



Айсберг в районе станции Прогресс. Фото С. Гагаева

дущем, необходимо знать нынешнее исходное состояние морских экосистем, еще не затронутых таким воздействием. Важность их изучения проистекает также из насущных хозяйственных нужд: поиск новых пищевых ресурсов требует знаний о составе и распределении промысловых беспозвоночных и рыб.

Уникальные исследования, проводимые нашими сотрудниками в Антарктике, опираются на метод, разработанный известным отечественным гидробиологом доктором биологических наук Александром Голиковым (с 1966 по 1992 г. он возглавлял нашу лабораторию). Суть его состоит в сборе бентоса* в зависимости от размера организмов и характера их распределения с последующим комплексным анализом видового состава флоры и фауны, а также количественного распределения гидробионтов на разрезах. Мейобентос (животные размером менее 1 мм) собирают специальным мерным стаканом. Макробентос (животные и растения крупнее 1 мм) — другим способом:

*Бентос — совокупность организмов, обитающих на грунте и в грунте дна водоемов. Морской бентос служит пищей многим рыбам и другим водным животным, а также используется человеком (например, водоросли, устрицы, крабы) (прим. ред.).

на твердых грунтах с помощью рамки в $0,1 \text{ м}^2$ и совка, а на мягких — водолазным дночерпателем. Фауну и флору, распределенную редко или неравномерно, учитывают рамками в 1 м^2 и с определенной площади, проплывая с метровой рейкой вдоль разложенного на дне мерного фала и собирая всех редких животных, не попавших до этого момента в рамки $0,1 \text{ м}^2$ и 1 м^2 . Фито- и зоопланктон собирают с помощью планктонных сеток, проводя тотальный лов со дна до поверхности.

Отбору проб, как правило, предшествует фотосъемка типичных участков дна в исследуемом районе для предварительной оценки характера распределения биоценозов, определения их границ и, соответственно, выбора наиболее подходящих мест для дальнейшего взятия проб. Каждый спуск заканчивался «по горячим следам» кратким отчетом водолаза перед видеокамерой.

После взятия проб макробентоса проводилась их промывка от ила и песка. В лаборатории на станции Прогресс осуществлялась камеральная обработка (включая разборку проб по группам животных, предварительное их определение, подсчет численности и



Начало подводного спуска.
Фото В. Джуринского

массы доминирующих видов, а также фиксирование образцов в формалине и этаноле для дальнейшей консервации уже в Зоологическом институте).

Для мониторинга был выбран, как упоминалось, участок в заливе Прюдс моря Содружества в восточной части Антарктиды, расположенный вокруг оазиса, — участка суши, освобождающегося ото льда и снега в летний период. Здесь расположены российская станция Прогресс, а также китайская и сезонная австралийская. Большинство разрезов выполнено в районе фьорда Нелла, в различных биономически отличающихся участках, меньшая часть — со стороны, прилегающей к китайской и российской станциям. Ведущее китайцами строительство порта, имеющее активное влияние на донные биоценозы, также оправдывает закладку мониторинга в этом районе.

В ходе 52-й Российской антарктической экспедиции в 2006–2007 гг. мы использовали старое водолазное оборудование и снаряжение: костюм «Садко-2» и акваланг АВМ-1М, с которыми работали в течение тридцати лет в Арктике и на Дальнем Востоке. К чести изготовителей оно зарекомендовало себя очень хорошо: с ним не было ни одного ЧП. А при подготовке экспедиции 2008–2009 гг. нам удалось, получив финансовую поддержку от Института Арктики и Антарктики, закупить новое снаряжение, позволившее нам более или менее безопасно погружаться на глубины.

Работы, за редким исключением, проводились подо льдом, достигавшим толщины 1,5–2,5 м. От 2 до 4 ч уходило на трудоемкую подготовку майны (проруби) для водолазных спусков. Немало времени требовалось также на промывку собранных проб, разборку материала с целью определения видового состава, доминирующих в сообществах видов, подсчета их количества и биомассы.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛОРЫ И ФАУНЫ

На суше в районе станции Прогресс животный и растительный мир беден: несколько видов птиц, млекопитающих, редкие лишайники... Под водой начиная уже с 3 м разнообразие животных огромно.

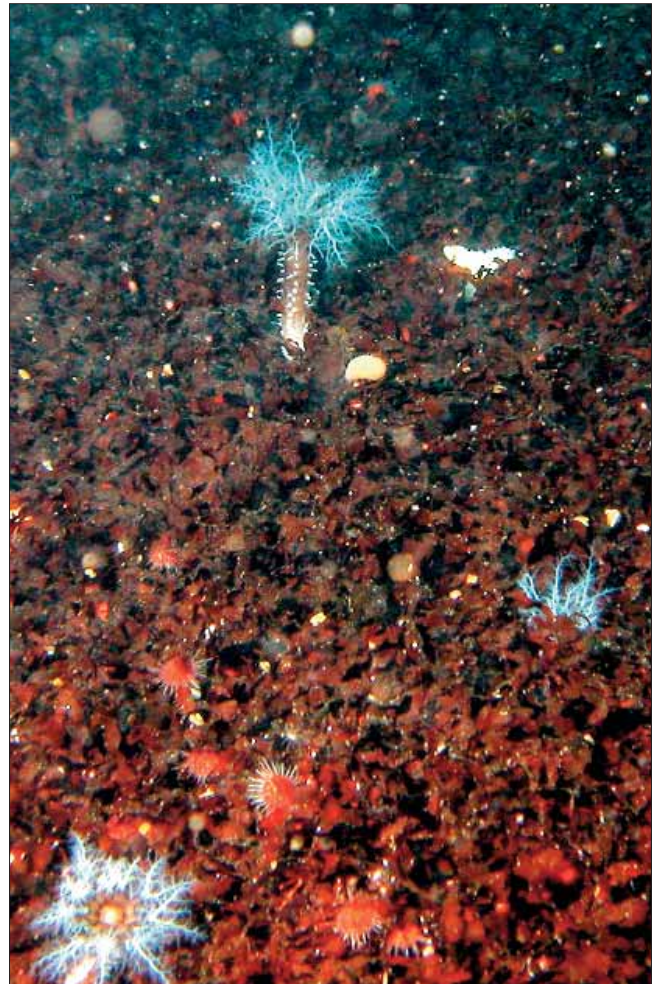
От малых глубин и до 30 м дно покрыто красными водорослями, морскими ежами *Sterechinus neumayeri*, голотуриями, губками, актиниями и асцидиями, а в грунте прячутся двусторчатые моллюски, многощетинковые черви и другие беспозвоночные. Этот биоценоз в различных модификациях присущ пологому заиленному дну и обычен в южной и юго-восточной части фьорда Нелла. Там же встречаются разнообразные морские звезды, среди которых наиболее обильный на шельфе Антарктики и практически всеядный вид *Odontaster validus*.

Большая часть дна покрыта ковром красных водорослей *Phyllophora antarctica*. Этот вид багрянок, как их еще называют, относящийся к *Rhodophyta*, играет важнейшую роль в жизни прибрежных донных сообществ континента. Наряду с фитопланктоном и диатомовыми водорослями, селящимися на нижней поверхности льда, *Ph. antarctica* служат важнейшим звеном в пищевой цепи, где происходит преобразование солнечной энергии в энергию химических связей. Говоря по-иному, они образуют органические вещества и являются источником пищи для травоядных: морских ежей, брюхоногих моллюсков и ряда других животных. На мелководьях антарктического шельфа *Ph. antarctica* — руководящий или преобладающий по биомассе вид одноименного сообщества, в которое на относительно равных правах входят морские ежи *Sterechinus neumayeri*. Видимо, эти иглокожие — основные потребители багрянок. Разумеется, они не



Морская звезда *Odontaster validus*.
Фото Б. Сиренко

На ковре из красных водорослей
Phyllophora Antarctica.
Фото С. Гагаева



подозревают, что вместе с ними вводят в свой организм значительное количество мышьяка, как, возможно, и все другие животные, прямо или опосредованно питающиеся водорослями. Совсем недавно было установлено, что в талломах (телах) филлофоры в виде соли арсенобетаина содержится до 0,8 мкг мышьяка на 1 г сухой массы растения. Факт, проливающий свет на повышенное содержание этого элемента в морских антарктических организмах.

Повсеместно, где есть камни, обращает на себя внимание розовый налет на них. Это тоже багрянки, только известковые *Leptophytum coulmanicum*. Несмотря на тонкий слой такой корочки, водоросли покрывают до 80% поверхности камней и дают в сумме весьма ощутимую биомассу.

Кое-где встречаются торчащие крупные, величиной с ладонь, пустые раковины *Laternula elliptica*, принадлежащие к классу двустворчатых моллюсков *Bivalvia*. Позже мы увидим и живых их представителей. Они прячутся в грунте и об их присутствии можно судить лишь по сдвоенным сифонам, отверстия которых, находясь вровень с поверхностью грунта, в большом количестве покрывают дно на глубинах от трех до тридцати с лишним метров. Через сифон они

пропускают воду, чтобы добыть съестное, парящее в ней. Заметим, латернулу очень тяжело достать из грунта. Мы пробовали их выкапывать, пользуясь ножом, — неблагодарная работа: мгновенно поднимается облако мути, а створки раковины, как правило, повреждаются. Оказалось, что много проще быстренько ухватить сифон и дернуть за него вверх. В этом случае моллюска выдергиваешь, как морковку из грядки. Латернулы, как и многие их сородичи в Антарктике, имеют лецитотрофные (с запасом питательного желтка) личинки, некоторое время находящиеся в мантийной полости родителя. Таким образом моллюск проявляет заботу о потомстве, появляющемся в начале южной зимы.

На дне немало лентообразных светлых крупных червей немертин *Parborlasia corrugatus*. Цвет их может меняться от белого до почти фиолетового в других районах обитания, а встречается вид у берегов Аргентины, Перу, Чили, Южных Оркнейских и Южных Шетландских островов, вокруг Антарктиды на глубинах 0 — 3500 м.

Иногда эти черви сплетаются большими клубками, как змеи. *P. corrugatus* могут обнаруживать пищу на расстоянии с помощью специальных хемочувстви-



Антарктический гребешок *Adamussium colbecki*.
Фото Б. Сиренко

тельных клеток. Растягивающийся рот способствует захвату жертвы, по величине сходной с самим охотником. А питаются немуртины чем попало: губками, медузами, морскими звездами, многощетинковыми червями, моллюсками (может слопать гребешка, несмотря на его внушительные размеры и способность к прыжкам), рачками-бокоплавами, актиниями и рыбьей икрой. Внутри их пищеварительной системы находили даже кусочки тюленьего мяса.

Любопытно и то, что у таких сравнительно крупных тварей отсутствует дыхательная система и они поглощают кислород, растворенный в воде, через поры всей поверхностью тела. Им его вполне хватает потому, что у них весьма низкая скорость обмена веществ, да и кислорода в холодной воде Антарктики предостаточно.

Глубже, где багрянки уже образуют сплошной ковер, множество голотурий* нескольких видов. Одни коричневые, другие розовые, ловят сестон**, невидимый глазу исследователя. Звезды разбросаны хаотично, тоже на расстоянии 3–5 м друг от друга.

Много венчиков щупалец сабеллид (*Perkinsiana* sp.)***, особенно на редких крупных камнях. Эти чер-

*Голотурии — морские огурцы, относятся к иглокожим, как морские ежи и звезды (прим. авт.).

**Сестон — мелкие планктонные организмы и взвешенные в воде органические и неорганические частицы (прим. ред.).

***Сабеллиды — семейство полихет или многощетинковых червей, *Sabellidae* (прим. авт.).

Двустворчатый моллюск *Laternula elliptica*.
Фото Б. Сиренко



ви тоже озабочены пропитанием, ловят своими венчиками все, что падает сверху. На валунах изредка встречаются крупные скопления длинных белых трубок. Это домики обычных для малых глубин Антарктики серпулид (*Serpulidae*), тоже полихет *Serpula narconensis*, здорово смахивающих на макароны, тесно и ровно уложенные вместе. Еще один экземпляр, относящийся к тому же классу червей, однако выглядит совершенно иначе — никакой трубки нет и в помине, скорее напоминает очень долговязого ежа с полупрозрачным телом и редкими колючками — это *Flabelligera mundata*.

Если приглядеться, то среди багрянок можно увидеть и других представителей многощетинковых червей, но из семейства *Polynoidae*. Они плоские, а их верхняя часть покрыта элитрами (чешуйками). Как выяснилось позднее, наиболее обычны здесь два вида: *Harmothoe spinosa* и *Barrukia cristata*. По размеру они значительно мельче своих сородичей из того же семейства, но встречающихся на больших глубинах Антарктики, речь идет о *Eulagisca gigantea*, достигающей в длину 210 мм, а в ширину 60. Немного меньше — 175 в длину и 55 мм в ширину — другой родственник из тридцатиметровых глубин моря Дейвиса *Eulagisca puschkini*. Кстати, замечательные многощетинковые черви не только формой или размерами. Не так давно было установлено, что полихеты способны выделять биологически активные



Известковые багрянки *Leptophytum coulmanicum*. Фото С. Гагаева

вещества, замедляющие или вовсе блокирующие рост раковых клеток.

По мере увеличения глубины меняется грунт, рельеф дна и соответственно фауна. На предельно обследованной нами глубине, 43 м, доминируют асцидии *Distaplia cylindrica*. Эти колониальные организмы напоминают стеариновые свечи длиной до 4–5 м, крепящиеся основанием к мелким камням и гальке, играющим роль якоря. Внутри желеобразной колонии накапливается газ, позволяющий ей держаться в воде вертикально. С ростом колонии накопившийся в ней газ преодолевает сопротивление «якоря» и она в виде гигантского червя всплывает на поверхность открытой воды или вмержает в образовавшийся лед. Всплыванию асцидий может также способствовать и такое редкое для Антарктики явление, как образование донного льда. «Черви» могут ввести в заблуждение мореплавателей и океанологов, не искушенных в зоологии. Кроме *D. cylindrica* встречается много других асцидий, похожих то на плафон настольной лампы, то на гроздь

диковинных ягод или на сросток грибов. Крупные офиуры*, горгонарии** и губки дополняют картину.

У западного берега залива другие сообщества. На камнях мелководья в сумерках льда толщиной до 250 см селятся крупные актинии *Isotealia antarctica* и морские ежи *Sterechinus neumayeri*. Глубже их сменяют губки *Sphaerotylus antarcticus*, *Calyx arcuarius* и пояс известковых трубок многощетинковых червей *Serpula narconensis*. Там также попадаются крупные морские звезды до 30–40 см в диаметре и немертины *Parborlasia corrugatus*.

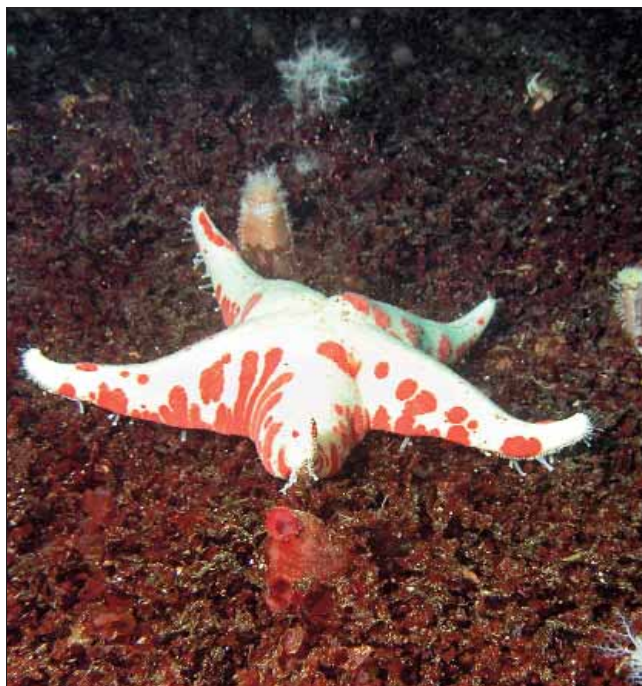
Глубже 15–18 м уклон дна резко меняется и достигает примерно 45°, а в некоторых местах и круче. Нам приходилось спускаться здесь до 34 м. Узкие каменистые террасы в виде неровных ступеней, покрытые илом, казались тропами диких зверей и сплошь были

*Офиуры (змеехвостки) — иглокожие, очень похожие на звезды, но с длинными и тонкими лучами (прим. авт.).

**Горгонии — восьмилучевые кораллы, или морские веера (прим. авт.).



Антарктическая «клумба»
на крупном валуне.
Фото С. Гагаева

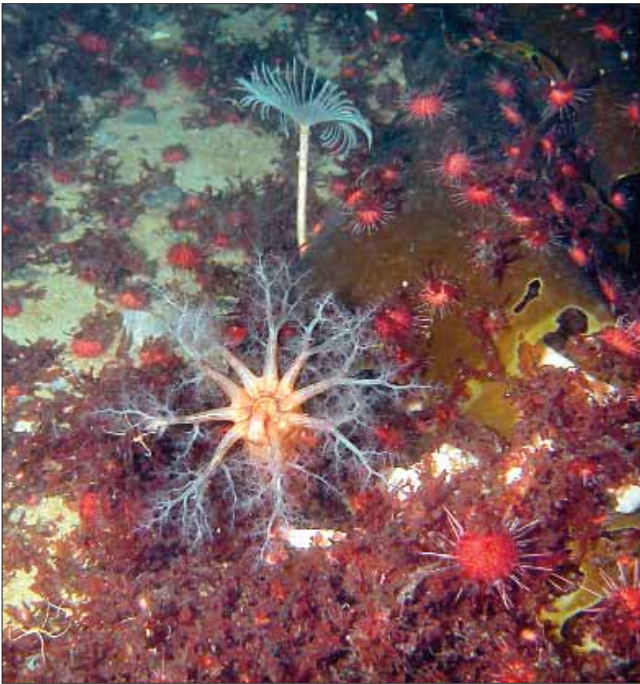


Морская звезда *Perknaster aurorae*.
Фото С. Гагаева

заняты зонтиками полихет *Perkinsiana* sp. и их собратьями. Разнообразные по форме губки: полуметровые «амфоры» без шипов (*Anoxycalyx* (*Scolymastra*) *joubini*, достигают в высоту 2 м и 1,4 м в диаметре) и с шипами *Rosella nuda*, шары *Tetilla leptoderma*, причудливые, как растения, лимонно-желтые кактусовые *Dendrilla antarctica* или золотистые гроздья *Isodictya erinacea* встречались повсеместно.

Чрезвычайно трудно определить возраст губок. Американские исследователи, наблюдая за ними на шельфе моря Росса, отмечают, что разные виды, в том числе перечисленные выше, могут оставаться в неизменном состоянии в течение нескольких лет, но затем в последующие три-четыре года медленно подрастать на 10–15 см. Причем не все экземпляры растут одновременно, а только около половины. Упомянутая ранее *A. (Scolymastra) joubini* в среднем прибавляет 2–3 см за 10 лет. При такой скорости роста можно предположить, что губка максимально отмеченного размера живет без малого 500 лет!

Здесь мы впервые увидели сидячего гребневика *Lyrocteis flavopallidus*. С представителями этой группы животных мы прежде встречались только в толще воды, а тут они сидели на трубках полихет. Лимонного цвета V-образные животные, похожие на надутые хирургические перчатки, поднятые на поверхность, превращались в слизь. Как отмечает немецкий исследователь Петер Бруеггеман в полевом определителе для моря Росса, *L. flavopallidus* встречается в диапазоне глубин от 32 до 761 м в Антарктике и у Южных Шетландских островов, предпочитая мелководные банки. Достигая в высоту 11 см, гребневик выбрасывает пару клейких нитевидных, разветвленных с одной стороны щупалец длиной 70 см и ловит ими пищу, отправляя ее в устье, расположенное в нижней части тела и отороченное своеобразной юбочкой. С ее помощью животное способно передвигаться по субстрату (по губке, трубке полихеты и т.п.), но с удивительно малой скоростью, уверенно отбирая первенство у улитки — 35 см в сутки и даже медленнее.



Среди морских ежей *Stereochinus neumayeri* видна питающаяся голотурия и сзади многощетинковый червь. Фото С. Гагаева

Асцидия.
Фото С. Гагаева



На крутом склоне довольно сложно удержаться, особенно когда в руках фотобокс, сигнальный конец или дночерпатель для отбора грунта. Неприятные ощущения возникают в случае, когда, занятый работой, начинаешь проваливаться спиной вперед в бездну. Нужно изловчиться и нажать вовремя кнопку подачи воздуха в жилет, чтобы остановить падение в пропасть. Прозрачность воды в Антарктике фантастическая, объекты видны порой на расстоянии 10–15 м, а может и больше. Бывает жутковато, когда «отвисаешься» (т.е. бездействуешь с целью осмотреться или для декомпрессии) на спусковом конце и смотришь вниз и на стены круто уходящего в бездну склона. Вода и стекло маски искажают предметы, кажется, будто ты находишься внутри гигантского фужера.

На выходе из залива на траверзе китайской станции Зонг Шан донное «население» сходно с сообществами западного побережья. Только очень мало глубок, а с 36–37 м начинается биоценоз свечеподобных пятиметровых синасцидий. Мы выполняли этот разрез, рискуя провалиться под рыхлый лед. Так продолжалось несколько дней, пока у берега не образовалась промоина, которую можно было преодолеть вплавь или на лодке. Лед дошел до такого состояния, что пробивался почти насквозь ударом пешни, и нам пришлось перебраться в более надежное место — на

внешнюю сторону залива. Там мы проводили спуски прямо с берега.

Другой состав и другой порядок в распределении животных в бухтах с внешней стороны залива. На каменных плитах им негде спрятаться, и крупные голотурии лежат на поверхности среди ежей и редких звезд. Мы работали здесь на небольших глубинах, не превышавших 15 м, с хорошим солнечным освещением, когда лучи проникают сквозь разводья среди битого льда. Из-за этого вспышка не срабатывала, и фотографии получались с зеленоватым оттенком.

Удивляло «заторможенное» поведение рыб: часто бычки неподвижно лежали в расщелинах на дне, их можно было брать руками, словно они находились в спячке.

Неподалеку мы видели немногочисленные стаи орок (касаток). Они переговаривались, издавая специфическое скрежетание и потрескивание. Может быть, хотели поведать что-то очень важное...

ОСНОВЫ ДЛЯ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА

За период исследований с 24.12.2006 по 17.01.2007 г. и с 28.12.2008 по 21.02.2009 г. выполнено 9 морских гидробиологических разрезов. Шесть из них в фьорде Нелла: с южной, западной, восточной стороны, на



Гребневик *Lyrocteis flavopallidus*.
Фото С. Гагаева



Крупные голотурии на каменистом
мелководье бухты среди ежей.
Фото С. Гагаева

выходе в пролив и на траверзе китайской станции у восточного берега фьорда. С внешней стороны, в заливе Восточный, были выполнены 3 разреза: у причала китайской станции, в бухте Пляжной и в бухте Обьездной у станции Прогресс. Водолазами-исследователями совершено более 100 спусков, проведено под водой около 40 ч. За время погружений реализованы работы на 27 станциях. Всего собрано более 100 количественных и качественных проб макробентоса, 30 — мейобентоса, 20 проб планктона. В итоге заложены надежные основы для многолетнего биологического мониторинга.

Предварительные результаты подтвердили относительно высокое биоразнообразие исследованных участков акватории у станции Прогресс, где обитает около 600 видов морского макробентоса. Особенно большое многообразие отмечено для иглокожих, губок, полихет и асцидий. Несколько видов, собранных в заливе, как мы предполагаем, новые для науки. Настоящие исследования показали, что доминирование

красных водорослей (*Phyllophora antarctica*) и морских ежей в мелководных участках Антарктики (на глубинах до 20 м) не является повсеместным, а наблюдается, как правило, на мягких грунтах. Жесткие же населены иными доминирующими видами, представленными в основном губками, асцидиями и полихетами, здесь очень часто филофора замещается известковыми водорослями (местами площадь покрытия составляет около 80%). Биомасса бентоса в изученных участках на глубинах от 3 до 30 м колеблется от 1600 до 5300 г/м², что характерно для высокопродуктивных областей Мирового океана.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Иллюстрации предоставлены авторами

«РАДИОАСТРОН» ПРИБЛИЗИТ ДАЛЬНИЙ КОСМОС



Марина ХАЛИЗЕВА, журналист

Российская академия наук и Федеральное космическое агентство (Роскосмос) в 2011 г. осуществили запуск уникальной космической обсерватории «Радиоастрон» с 10-метровой рефлекторной антенной, образующей вместе с крупнейшими наземными радиотелескопами и станциями слежения систему, которая впервые позволит исследовать ядра галактик и других астрономических объектов с беспрецедентно высоким разрешением — в миллионные доли угловых секунд, т.е. в миллионы раз лучше человеческого глаза.

Это знаковое в истории отечественной и мировой астрофизики событие произошло 18 июля, когда с космодрома Байконур стартовала ракета «Зенит-3М» с разгонным блоком «Фрегат-2СБ», несущая спутник-модуль «Спектр-Р» на высокоапогейную орбиту.

Напомним, программа «Радиоастрон» была инициирована Астрокосмическим центром Физическо-

го института им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) еще в 1980-е годы. Именно тогда ученик основателя советской школы современной астрофизики члена-корреспондента РАН Иосифа Шкловского Николай Кардашев (академик с 1990 г.) с коллегами начал

Космический радиоинтерферометр «Радиоастрон».

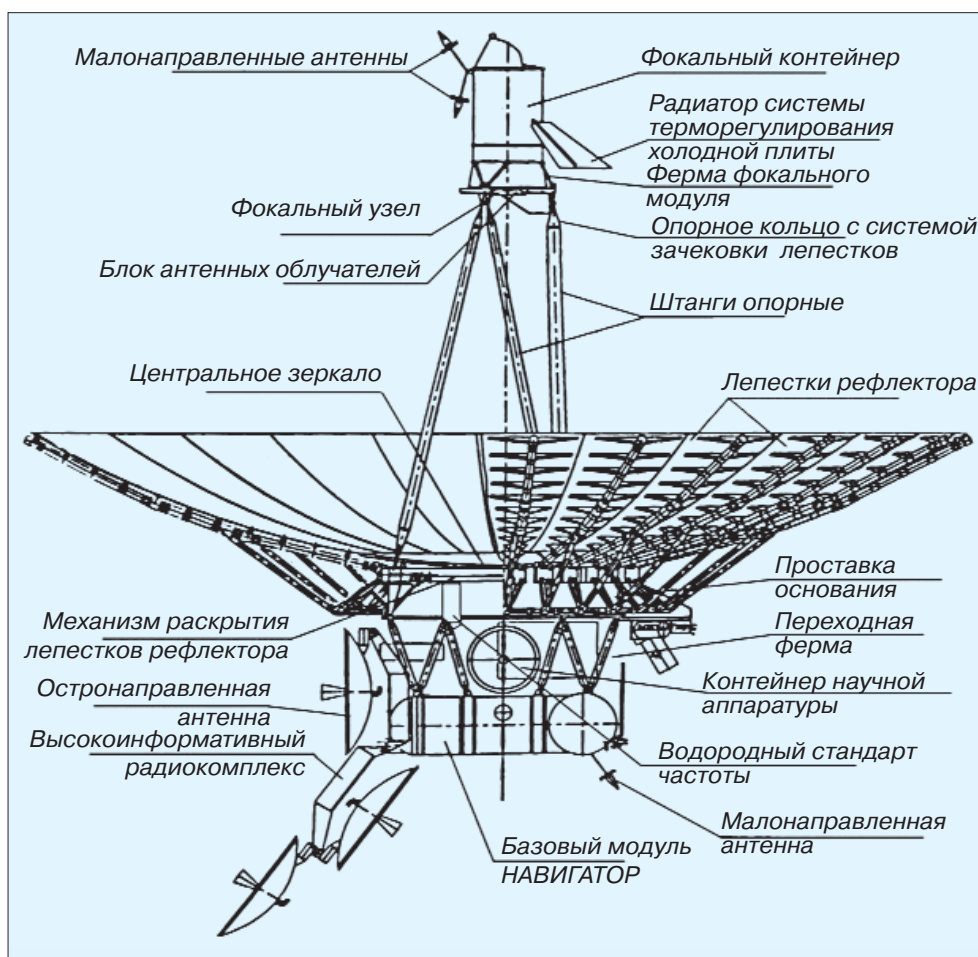


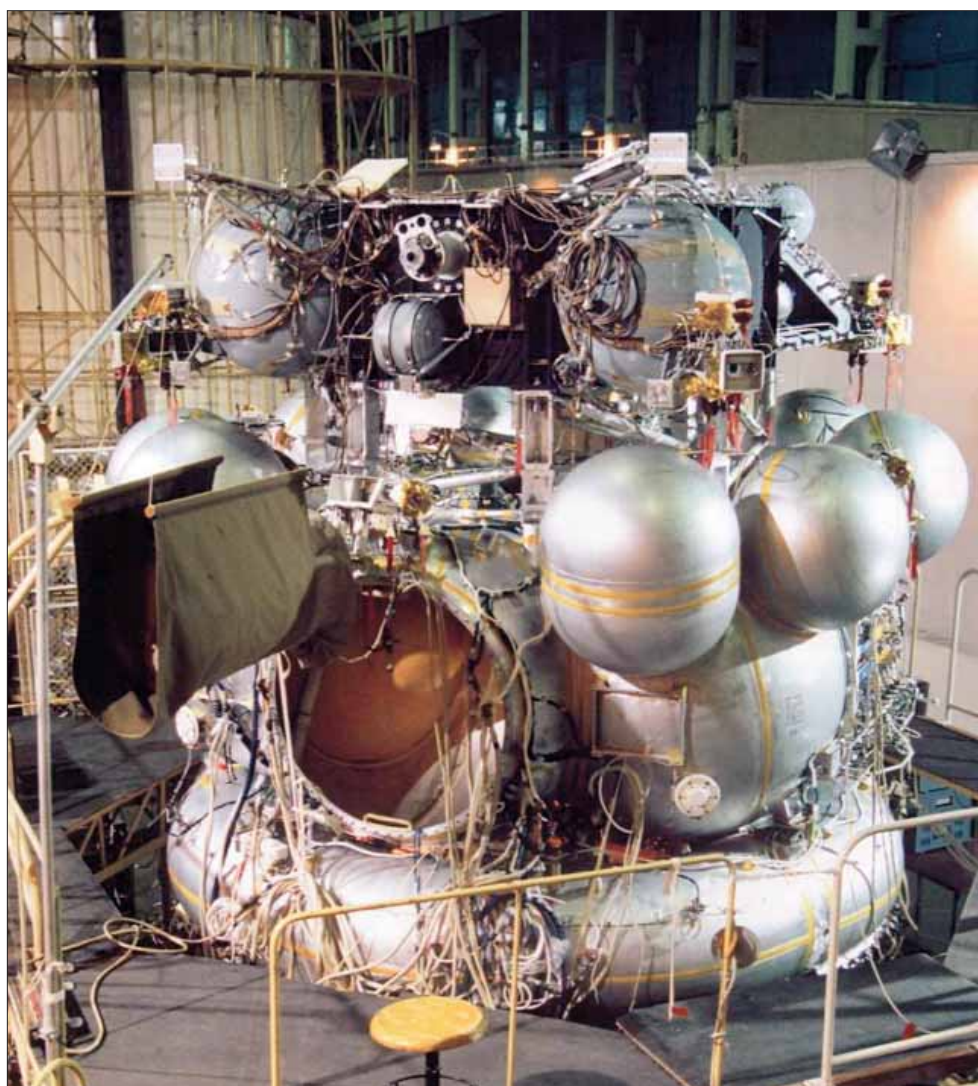
Схема компоновки радиотелескопа и базового модуля.

строить телескоп для получения изображений, координат и угловых перемещений различных объектов Вселенной. Однако в 1990-е годы проект по финансовым причинам заморозили, но сохранили, завершив его в 2000-х. А теперь он стал объектом глобального международного сотрудничества, в котором интегрированы силы ученых 20 стран.

На борту астрофизического спутника, использующего новейшую платформу «Навигатор» (разработка НПО им. С.А. Лавочкина, г. Химки Московской области), находится полезный груз массой ~2500 кг с комплексом электронной аппаратуры, изготовленной Астрокосмическим центром ФИАН и зарубежными партнерами из США, Индии, Австралии, Финляндии, Швейцарии, и параболической антенной — «сердцем» обсерватории. Она состоит из центрального зеркала трехметрового диаметра и 27 «лепестков», сделанных из композиционного углеродного материала. К слову, все они развернулись в космосе с точностью до 0,5 мм, образуя радиотелескоп зонтикообразной конструкции диаметром 10 м. Высокую отражательную способность поверхности устройства (98%) обеспечивает алюминиевое покрытие толщиной 100 мкм и система борьбы с тепловыми деформациями, поддерживающая постоянную температуру поверхности в пределах +50°C.

Космический радиотелескоп имеет относительно небольшую полезную площадь, поэтому для эффективности наблюдений в связке с ним работают его наземные «собратья» в России (г. Пушино Московской области, где находится старейшая радиоастрономическая обсерватория ФИАН), Австралии (г. Канберра) и США (г. Грин Бэнк). Управление обсерваторией осуществляют с российских станций слежения в Евпатории (Крым) и Медвежьих Озерах (Московская область).

Спутник вращается по необычной орбите, ранее не использованной в экспериментах. Она очень вытянута, пояснил в ходе пресс-конференции на космодроме Байконур руководитель Астрокосмического центра ФИАН Николай Кардашев. Радиотелескоп то приближается к Земле (на 50-70 тыс. км), то удаляется от нее примерно на 350 тыс. км. Это нужно для того, чтобы увеличить степень детализации изображений радиосветящихся объектов, определить их координаты и, возможно, динамику. Работа идет по следующей схеме: сигнальный луч с «Радиоастрона» направляют в далекую точку Вселенной, туда же идет луч с наземного радиотелескопа. Отраженные сигналы принимают антенны, затем полученные данные сводят в общую картину. Такие пары астрономических инстру-



**Комплексные
электрические испытания
космической платформы
«Навигатор»
с разгонным блоком
«Фрегат-СБ».**

ментов (космический аппарат, объединенный с наземным телескопом), образующие интерферометрическую систему, позволяют благодаря разнесенной на громадное расстояние орбите спутника получать предельно четкое изображение — до 8 миллионов долей угловой секунды (надо сказать, человеческий глаз не различает и одной доли). Одним словом, можно уловить радиоизлучение микрообъектов, угловые размеры которых сравнимы с фасолиной на поверхности Луны. Предшественник «Радиоастрона» — всемирно известный оптический телескоп «Хаббл» (проект НАСА и Европейского космического агентства), с 1990 г. одиноко парящий на земной орбите, подобными возможностями не обладает. Да, ему под силу изучение объектов очень далеких, поясняет Кардашев, но угловое разрешение прибора и детализация изображения невелики. Мы будем иметь картинку в сотни тысяч раз лучше, утверждает он.

Астрофизики намерены в течение 5 лет штатной работы спутника получить данные для построения

системы небесных координат следующего поколения, измерить эффекты, предсказанные Общей теорией относительности Альберта Эйнштейна, разработать новые методы высокоточного определения орбит космических аппаратов и их эволюции.

Особый интерес для специалистов представляют дальние «точки» — «темная материя» и «темная энергия», нейтронные и кварковые звезды, облака межзвездной плазмы, мазеры, пульсары, квазары* — для изучения с обсерватории уже выбрано 20-30 объектов во Вселенной, дающих мощное радиоизлучение.

Астрофизики надеются также больше узнать о поведении сверхмассивных «черных дыр» — самых загадочных образований в центре нашей Галактики и за ее пределами. Исследовать структуру этого физического явления до сих пор не удавалось, поскольку с Земли это сделать невозможно. Перед «Радиоастроном» стоят задачи действительно прорывного характера. Одна

*См.: А. Черепашук. Тайны Вселенной. — Наука в России, 2011, № 3 (прим. ред.).



Комплексные испытания телескопа.
2011 г.



Космический радиотелескоп
представляет собой
приемную параболическую антенну,
оснащенную аппаратурой
преобразования и передачи
научной информации на Землю.

На космодроме Байконур
разгонный блок «Фрегат-СБ» стыковали
с международной орбитальной
астрофизической обсерваторией
«Спектр-Р».



Пуск ракеты космического назначения «Зенит-3М» с разгонным блоком «Фрегат-СБ» состоялся с 45-й площадки космодрома Байконур. Фото Космического центра «Южный»



Академик Николай Кардашев – «отец» и главный энтузиаст проекта «Радиоастрон».
Фото В. Самодурова

из ближайших – заглянуть в центр Галактики М-87, в скопление Девы, находящемся в 18 Мпс от нас (это примерно 59 млн световых лет). Там, за «пятном» излучающей плазмы, скрывается самая близкая к нам «черная дыра». «Угловое разрешение – миллионная секунды – достаточно, чтобы увидеть горизонт сверхмассивной «черной дыры», – отметил заместитель директора Астрокосмического центра, член-корреспондент РАН Игорь Новиков в интервью газете «Троицкий вариант» (г. Троицк Московской области). – Это и есть самая интересная мишень. Реально можно увидеть... тень от черной дыры на фоне аккреционного диска. По тому, как выглядит тень, можно судить о том, действительно ли это черная дыра, действительно ли там есть горизонт. Это единственный способ строго проверить предсказание Общей теории относительности по поводу их существования».

«Радиоастрон» сможет ответить и на другие вопросы: как рождаются мощные взрывы во Вселенной, почему они происходят, не опасны ли для человечества? А если взрыв произойдет направленно, что будет с социумом?

По сообщениям Агентства научной информации «ФИАН-информ», 27 сентября 2011 г., когда аппарат находился на расстоянии 260 тыс. км от Земли, в Астрокосмическом центре провели наблюдения космического объекта – остатка сверхновой звезды «Кассиопея А». Детектирование «первого света», как говорят астрофизики, с использованием радиометров, работающих в диапазонах волн 92 и 18 см, прошло успешно. В комментарии к событию старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук Юрий Ковалев сказал: «Конечно, для астрономов «первый свет» – большой праздник. Фактически, этот момент знаменует рождение телескопа... Сканирование прошло прекрасно, система наведения работает замечательно, эффективная (собирающая) площадь телескопа даже немного больше, чем мы ждали. Наш следующий шаг – увидеть «Кассиопею А» в диапазонах 6 и 1,3 см».

Иными словами, первые месяцы работы космической обсерватории подтвердили ожидаемую высокую чувствительность аппарата – значит, уже в скором времени можно ожидать захватывающих результатов. «Я думаю, что в ближайшие 10-15 лет произойдет изменение нашего понимания о Вселенной, – заявил в интервью российскому телеканалу «Вести» заведующий отделом обработки астрофизических наблюдений Астрокосмического центра доктор физико-математических наук Сергей Лихачев. – И, безусловно, такие миссии, как «Радиоастрон»,... подвигают астрофизику к этим революционным событиям».

Иллюстрации с сайта НПО им. С.А. Лавочкина и других интернет-источников

ЛАЗЕРНЫЕ ДИОДЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Специалисты Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) создали лазерные диоды нового поколения, работающие в спектральном диапазоне 1060 нм. По данным Агентства научной информации «ФИАН-информ», они имеют непрерывную мощность до 10 Вт и отличаются высокой эффективностью.

По сути речь в сообщении идет о твердотельных лазерах, рабочим веществом которого служит полупроводник, точнее, кристалл, изготовленный на основе многослойных наноразмерных гетероструктур*. Они были разработаны в ленинградском Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе** и реализованы в системах AlGaAs-GaAs и GaInAsP-GaAs два десятилетия тому назад. Однако интерес к ним, особенно к устройствам, излучающим на длине волны 805-808 нм и 915-980 нм, не ослабевает, поскольку «товар» пользуется спросом в электронной промышленности, ядерной энергетике, высокотехнологичной медицине.

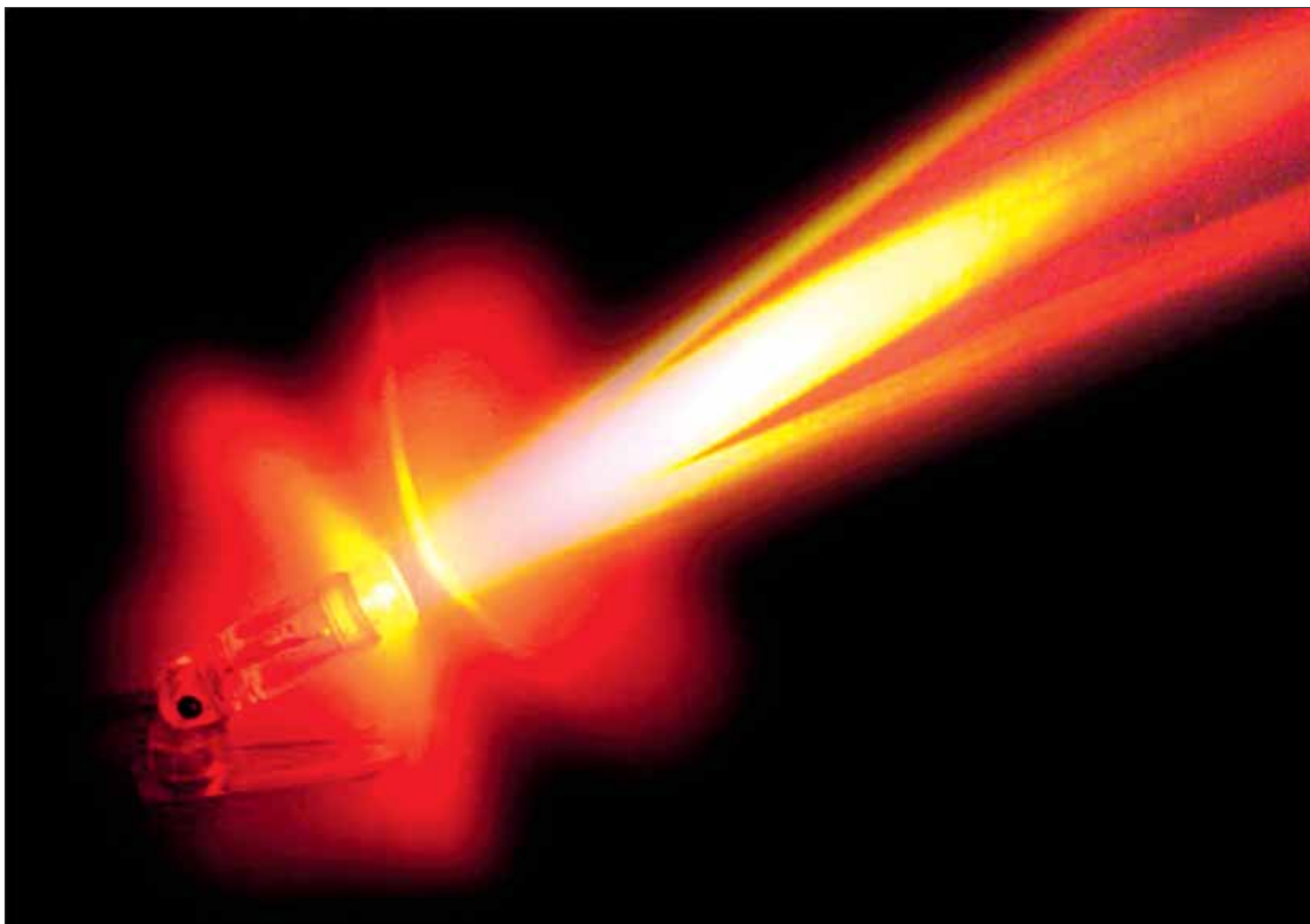
*Гетероструктура (иной, разный) — слоистая структура, образованная при тесном контакте двух и более разнородных полупроводников, различающихся шириной запрещенных зон, постоянной кристаллической решетки и другими параметрами (*прим. ред.*).

**См: Р. Сурис, Э. Тропп. Из плеяды прославивших Отечество. — Наука в России, 2010, № 2 (*прим. ред.*).

В современных лазерных диодах полупроводниковые кристаллы имеют небольшой размер (0,1×0,5×3 мм). Для накачки его активной области используют безопасный низковольтный источник питания с рабочим напряжением около 2 В. Такие устройства легки, компактны и экономичны. Не случайно более 60% мирового производства лазеров, по данным журнала «Laser Focus» (США), приходится именно на них.

Динамичное развитие электронной промышленности и других областей науки и техники требует постоянного усовершенствования характеристик лазерных диодов — увеличения их оптической мощности, яркости, эффективности, срока службы. Практически все развитые страны так или иначе работают над этим. Лидирующая роль здесь принадлежит США, Германии, Англии и Франции. В России наиболее заметных результатов в этой сфере добились в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе (Санкт-Петербург), Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН и ФИАНе (Москва).

В последние годы, сообщает Агентство научной информации, удалось повысить ресурсную выходную мощность одиночных излучателей до 8-10 Вт при сроке службы более 5 тыс. ч — этого достаточно для решения многих практических задач. Однако ре-



зервы не исчерпаны. Сегодня усилия специалистов направлены на повышение КПД лазерных чипов до 65% и выше, поиск продуктивных методов отвода тепла из активной области кристалла — от решения этих проблем зависит увеличение ресурсной мощности одиночных источников до 15-20 Вт.

Полученные в ФИАНе лазерные диоды, работающие в спектральном диапазоне 1060 нм, по словам ведущего научного сотрудника, кандидата физико-математических наук Виктора Безотосного, демонстрируют «...высокую эффективность, воспроизводимость ватт-амперных характеристик и потенциально высокую надежность». В ходе испытаний одиннадцати лазеров, проходивших в течение 100 ч на выходной мощности 8 Вт, интенсивность генерации всех источников была стабильной. Более того, при использовании усовершенствованной технологии металлизации теплоотводящих элементов, заметил Безотосный, «...на отдельных образцах получена рекордная для данного спектрального диапазона эффективность в непрерывном режиме работы: выходная мощность составила более 10 Вт при токе накачки 10 А».

Эксперты полагают: новые диодные лазеры окажут существенное влияние на производство оптических систем хранения и передачи данных, навигационной

аппаратуры, развитие машиностроения (сварка, резка кузовов автомобилей, вагонов и корпусов судов, упрочнение материалов, очистка и модификация поверхности), ядерной энергетики (разделение изотопов), управляемого термоядерного синтеза, микробиологии и медицины. Наконец, продвинутые диоды — находка для фундаментальных исследований. Их можно использовать как имитаторы излучения для мощных твердотельных лазеров, работающих в диапазоне 1047-1064 нм, либо в качестве малозатратной замены таковых.

Сейчас в ФИАНе изучают возможность повышения надежности устройств за счет применения систем с высокой теплопроводностью (до 2000 Вт/мК) на основе искусственных алмазов, выращенных методом «plasma-CVD» (химического парового осаждения).

*По материалам Агентства научной информации
«ФИАН-информ», 2011*

Иллюстрация из интернет-источников

Материал подготовила Марина ХАЛИЗЕВА

«СОСУДИСТЫЙ» ЛАЗЕР В ДЕРМАТОЛОГИИ



Марина МАЛЫГИНА, журналист

Специалисты Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) на основе лазерного аппарата «Яхрома-Мед» предложили новую технологию селективного удаления сосудистых и пигментных дефектов кожи без повреждения окружающих тканей.

Базовая установка, в конструкцию которой заложены оригинальные технические решения, защищенные патентами и авторскими свидетельствами, имеет рекордные по мировым стандартам ресурс работы и надежность.

Это первая и пока единственная такая установка для лечения доброкачественных патологий кожи, полностью прошедшая сертификацию Министерства здравоохранения и социального развития РФ.

Оптические квантовые генераторы начали применять в медицине более 50 лет назад. Как только в 1960 г. появился первый рубиновый лазер*, его сразу же попытались «приручить» дерма-

тологи. Однако воздействие аппарата на кожу оказалось болезненным, вызывало ожоги, поэтому он не пользовался большим спросом. В 1964 г. на службу медикам пришел лазер на диоксиде углерода, а затем

*См.: М. Хализева. Лазеры в науке, технике, медицине. — Наука в России, 2011, № 3 (прим. ред.).

Желтый свет импульсного лазера.

**Импульсно-периодический лазер
на парах меди «Яхрома-Мед» –
разработка Физического института
им. П.Н. Лебедева РАН.**



и другие, различающиеся по типу активной среды, — полупроводниковые, жидкостные (на неорганических или органических красителях), на парах металлов (в основном меди или золота). Постепенно лечение высококогерентным монохроматическим пучком света вошло в широкую практику и стало одной из самых востребованных процедур в дерматологии и косметологии. Распространение метода не останавливал даже тот факт, что первые медицинские лазеры, как правило, имели низкую избирательную способность: нагревали не только поврежденные, но и окружающие здоровые ткани, вынуждая врачей балансировать между эффективностью и безопасностью.

Однако выдвинутая в начале 1980-х годов прошлого столетия американскими дерматологами Роксом Андерсоном и Джорджем Пэрришем смелая и перспективная концепция селективного фототермолиза — избирательного поглощения световых волн определенной длины различными тканями — в корне изменила картину. Новаторы экспериментально доказали: одни окрашенные биологические субстанции (меланин, гемоглобин) хорошо поглощают световую энергию, вызывая деструкцию, разрушение клеток, в то время как другие таким эффектом не обладают. Это дало толчок к проектированию новых систем — «сосудистых» лазеров, обеспечивающих селективность воздействия на микрозоны кожи. В них очень нуждались медики, ведущие борьбу с чрезвычайно распространенными у нас сосудистыми и пигментными патологиями — телеангиэктазией (расширением мелких сосудов кожи лица и ног), капиллярными ангиодисплазиями («винными пятнами»), гемангиомами (гиперплазиями) и другими поражениями поверхностного слоя, от которых, по разным оценкам, страдает до 30% светлокосого населения России. Селективный фототермолиз давал уникальную возможность устранить подобные патологии, не нарушая жизненной функциональности расположенных рядом здоровых структур.

Лучшие результаты с минимальными побочными эффектами обеспечивали импульсные лазеры желтого света, в частности на парах меди, работающие на длине волны 578 нм. Их световые лучи способны нагревать образующие «винное пятно» или капиллярную гемангиому, сосуды до температуры коагуляции, не затрагивая при этом соседние. Разработанная в начале 2000-х годов в ФИАНе под руководством кандидата физико-математических наук Игоря Пономарева установка «Яхрома-Мед» входит именно в этот кластер. Однако по техническим, эксплуатационным и эргономическим характеристикам она превосходит ближайшие аналоги, во многом определяя направление развития отечественной медицинской техники для селективной фотодеструкции.

«Яхрома-Мед» генерирует импульсы в двух областях спектра: зеленом и желтом, сообщает Агентство научной информации «ФИАН-информ». Первый удаляет поверхностные дефекты, связанные с окраской кожи (например, веснушки, родимые пятна), а второй — более глубокие сосудистые образования. Дело в том, что зеленая длина волны (511 нм) хорошо «усваивается» меланином, а желтая (578 нм) совпадает с локальным максимумом поглощения гемоглобина. За счет этого фактора, а также возможности сфокусировать излучение до размера видимого глазом сосуда и наблюдается селективность воздействия аппарата — свет поглощают только измененные участки кожи, а здоровые под его влияние не попадают.

Следует отметить: лазеры с зеленым лучом на техническом рынке — не редкость. А генераторов с желтым светом, причем работающих в режиме коротких импульсов мощностью в десятки, сотни кВт, что и приводит к лечебному эффекту, — единицы. Объясняется это сложностью создания таких систем. «Если просто светить желтым светом, — комментирует Агентству «ФИАН-информ» заведующий лабораторией полупроводниковых лазеров с электронной накачкой ФИАН доктор технических наук Александр Наси-



Лазерный луч «Яхрома-Мед» в работе.

бов, — то ничего не получится: мало того, что сам сосуд успеет остыть, так еще и здоровые ткани будут облучаться и нагреваться. В нашем аппарате генерируются мощные импульсы продолжительностью 10 нс (10^{-8} с). И поскольку процесс остывания длится дольше — около 10 мкс (10^{-5} с), то импульсы успевают коагулировать кровь в маленьких сосудах и капиллярах, тем самым разрушая их». Селективность, точность дозировки, уникальный спектр воздействия, малый размер пятна фокусировки — все это вкуче дает отличные клинические и косметические результаты.

У прибора, собранного из отечественных деталей, рекордный срок службы — свыше 1500 ч. Надежность его работы обеспечивает лазерная трубка, не требующая постоянного обслуживания. Ее замена, как утверждают создатели, производится не чаще раза в год, а сама процедура чем-то напоминает смену лампочки бытового освещения.

Новая техника удобна и проста в применении. Микроконтроллерная система управления позволяет врачу с легкостью задавать необходимую программу, а встроенный жидкокристаллический дисплей контролирует состояние аппарата. Благодаря автономности его можно использовать практически в любом медицинском учреждении — от научно-исследовательского института до заводского здравпункта. Но квалификация врача при этом должна быть очень высокой. «Прибор, — утверждает Игорь Пономарев, — не каждому доктору можно дать в руки. Одну и ту же «мушку» вы можете удалить и на малой энергии, и на энергии в 10 раз больше. Но в первом случае у вас будет ровная кожа, а в другом — рана и кратер...». Не случайно физики трудятся в тесной кооперации с медиками, развивая и совершенствуя технологию се-

лективного удаления сосудистых и пигментных дефектов. При этом навыки работы с прибором клиницисты получают в крупных учебных центрах — Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И.И. Мечникова и Российском государственном медицинском университете (Москва). Более того, руководитель проекта создал особое интернет-сообщество пользователей аппарата «Яхрома-Мед». Происходящий в виртуальном пространстве обмен мнениями, методиками, параметрами позволяет, по словам флеболога, доктора медицинских наук Сергея Ларина из Волгограда, даже новичкам быстро проходить период адаптации и получать удовольствие от работы на этом современном высокотехнологичном оборудовании.

Установка сертифицирована в России и Украине, а технология лечения зарегистрирована в Минздравсоцразвитии РФ. Лучшие доктора страны, участвовавшие в клинических испытаниях, дали высокую оценку аппарату. «С помощью «Яхрома-Мед» мы вылечили более 2000 детей, — пишет в отзывах заведующий лазерным центром Российской детской клинической больницы (Москва) Николай Пospelов, — и пришли к выводу, что лазер на парах меди — идеальный инструмент для лечения сосудистых заболеваний кожи, особенно «винных пятен» и телеангиэктазий. Его применение менее болезненно. Он более эффективен и безопасен, чем другие лазеры, что особенно важно для лечения детей». Эту точку зрения разделяет дерматолог Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И.И. Мечникова, кандидат медицинских наук Светлана Ключарева: «Преимущество данного метода в том, что риск образования рубцов и травмирования окружающих

**Гемангиома до и после первого сеанса
лечения аппаратом «Яхрома-Мед».**



**Телеангиэктазия носа до и после
лечения аппаратом «Яхрома-Мед».**



**«Винное пятно» до и после лечения
аппаратом «Яхрома-Мед».**



тканей минимальный, период заживления значительно сокращается. Процедура занимает мало времени, бескровна, не требует анестезии. Эффективность лечения составила 96%. Ее коллега, сосудистый хирург Медицинского центра «Флебосентр» (г. Пермь) Павел Власов, использующий «Яхрома-Мед» для селективной коагуляции сосудов нижних конечностей, заметил: «Лазер оказался прекрасным дополнением к применявшейся ранее в нашем центре склеротерапии. Более 500 пациентов из Уральского региона прошли успешное лечение». Его поддержал пластический хирург из Балтийского института красоты (г. Калининград) Игорь Ефимчук: «Благодаря этому прибору я могу предложить своим пациентам эффективный, не оставляющий следов, не требующий длительного времени и сложного ухода метод удаления сосудистых и пигментных дефектов кожи.

Мы развернули большую практику, и сейчас, сделав свыше 300 процедур, имеем, наверное, самый большой опыт по применению «сосудистого» лазера на Балтийском побережье».

Остается добавить, что стоимость аппарата «Яхрома-Мед» в разы ниже западных аналогов. Это делает его наряду с высокой надежностью и рекордным ресурсом работы конкурентоспособным на внутреннем и мировом рынках, что, собственно, и подтверждает практика: свыше 100 отечественных и зарубежных клиник, медицинских центров уже приобрели и оценили его эффективность и экономичность.

Иллюстрации с сайта Физического института им. П.Н. Лебедева РАН и других интернет-источников

НАША ЗАДАЧА – СПАСТИ КОРАЛЛОВЫЕ РИФЫ

Доктор биологических наук Юрий ЛАТЫПОВ,
заместитель директора Дальневосточного морского биосферного
государственного природного заповедника ДВО РАН,
заведующий лабораторией экологии бентоса
Института биологии моря им. А. В. Жирмунского ДВО РАН

**В апреле-июне 2010 г. Тихоокеанский институт биоорганической химии
и Институт биологии моря им. А. В. Жирмунского ДВО РАН
совместно с Вьетнамским институтом океанографии
организовали комплексную экспедицию
на борту научно-исследовательского судна «Академик Опарин».
Объектом наших наблюдений были коралловые рифы
вдоль побережья Вьетнама, в открытом море и в Сиамском заливе.
Чрезмерная антропогенная нагрузка сделала эти старейшие экосистемы
нашей планеты очень уязвимыми, и ныне среди мер
по их охране и восстановлению особое место должно занять
искусственное выращивание кораллов.**

В о Владивостоке, в бухте Золотой Рог, есть особый причал — отсюда экспедиционные суда ДВО РАН уходят в долгие рейсы. Когда-то здесь приветствовали корвет «Витязь»: на нем плавал знаменитый русский путешественник, этнограф Николай Миклухо-Маклай, в 1870-1880-е годы изучавший коренное население Юго-Восточной Азии, Австралии и Океании. По традиции то же имя носили многие корабли, с которыми связаны славные страницы истории отечественной науки: с борта одного из «Ви-

тязей» в 1957 г. океанологи измерили в Марианской впадине максимальную глубину Мирового океана — 11022 м, а в 1949 г. в районе Курило-Камчатского желоба впервые доказали существование жизни на максимальных глубинах (более 8000 м). Позднее на научную вахту в Тихом океане заступили более совершенные лайнеры «Академик Опарин»*, «Академик Лав-

*Александр Иванович Опарин (1894-1980) — советский биолог и биохимик, создавший теорию возникновения жизни на Земле из абиотических компонентов (*прим. ред.*).

Гибель рифа Ку Лао Чам, засыпанного илистым терригенным осадком.



Коралловое сообщество на заповедном вьетнамском рифе.

рентьев»* во главе с флагманом дальневосточного научного флота «Академик Александр Несмеянов»** водоизмещением 6000 т, с десятками лабораторий, оснащенных самым современным оборудованием, включая автономный глубоководный комплекс. На его борту могли комфортабельно разместиться и плодотворно работать более 70 научных сотрудников! В этих плавучих исследовательских центрах отечественные океанологи, морские биологи, ботаники, географы, геологи, химики проводили интереснейшие

*Михаил Алексеевич Лаврентьев (1900–1980) — математик и механик, основатель Сибирского отделения АН СССР и Новосибирского академгородка (прим. ред.).

**Научно-исследовательское судно названо в честь академика Александра Николаевича Несмеянова, выдающегося отечественного химика-органика, в 1951–1961 гг. президента АН СССР (прим. ред.).

изыскания во всех районах Мирового океана вплоть до распада СССР в 1991 г.

Теперь, после длительного перерыва мы возобновили масштабные морские экспедиции на научно-исследовательских судах ДВО РАН. И в 2010 г. началась приятная, несмотря на многочисленные хлопоты, подготовка к рейсу, намеченному для совместных со специалистами Вьетнама исследований тропических сообществ в территориальных водах этой страны. Получив возможность работать в любом районе интересующей нас морской акватории, мы запланировали повторное изучение детально описанных четверть века назад рифов вдоль побережья, в открытом море и в Сиамском заливе. Было чрезвычайно интересно увидеть состояние здешних экосистем по прошествии времени, продолжительного даже для построек колониальных кораллов.



Коралловые поселения на охраняемых и не подверженных антропогенному влиянию рифах.



Угнетенные рифы, подверженные интенсивному антропогенному воздействию.

ДВАДЦАТЬ ЛЕТ СПУСТЯ

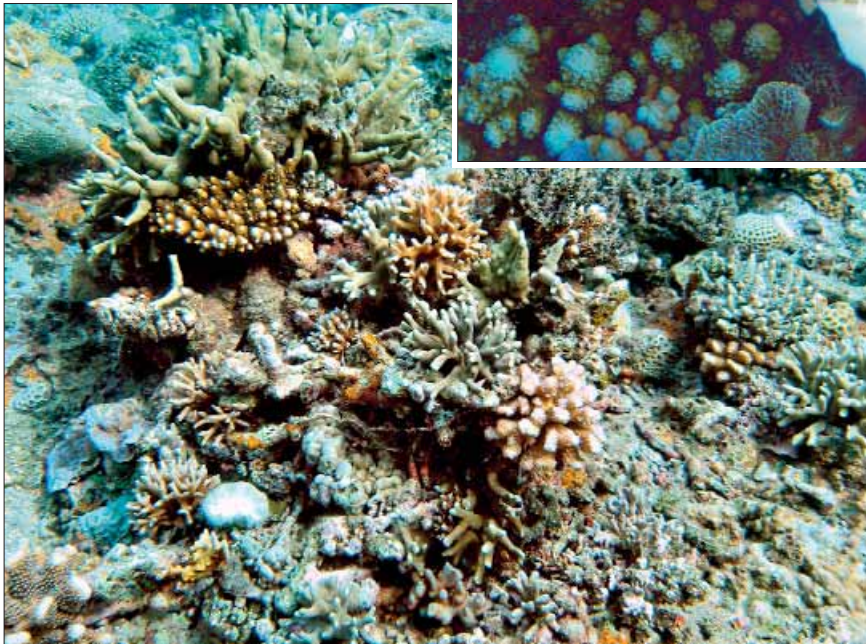
Надо сказать, что коралловым рифам, ныне испытывающим гнет антропогенных воздействий, угрожает постепенное исчезновение в мировом масштабе: треть их в критическом состоянии, и лишь 40% , находящихся вблизи населенных зон, считаются устойчивыми. Основная причина загрязнения и повреждения этих древнейших экосистем — сброс терригенных* стоков в морские воды. Чем интенсивнее развивается хозяйственная деятельность на побережье, тем больше илистых и органических осадков поступает в воду, а кораллы получают меньше света, оказываясь погребенными под слоем привнесенного материала. Интенсивное жилищное и коммуникационное строительство во Вьетнаме при недостаточных темпах развития инфраструктуры очистных сооружений и природо-

охранных мероприятий приводит к созданию здесь ситуации экологического риска.

Первое тягостное впечатление мы получили, осмотрев процветавшие ранее рифы островов Ку Лао Чам в центральном Вьетнаме. Они считались заповедными, их активно посещали аквалангисты всего мира. Теперь же можно по существу констатировать гибель этого чуда природы после прохождения тайфуна «Сангшэн» и сильного наводнения в 2006 г. Вслед за физическим разрушением значительной части коралловых поселений огромный вынос глинистого вещества с ближайшего вьетнамского побережья и из реки Бунг, впадающей в море напротив островов, привел к обильному осадконакоплению и умиранию почти всех остальных склерактиний (мадрепоровых кораллов). В настоящее время в местах, где некогда существовали рифы, происходит повсеместное расселение водорослей и различных видов альционарий (мягких кораллов). Эта водорослево-альционариевая

*Терригенные осадки (от лат. *terra* — земля) образуются в результате поступления в водоем веществ с водосборной площади (прим. ред.).

Хищные гастроподы *Drupella* поедают колонию коралла *Montipora*.



Оптимальное поселение кораллов на контролируемом рифе.

фаза сукцессии (последовательной, закономерной смены) рифовых сообществ характерна для периода их восстановления после разрушительных последствий тайфунов.

Во вновь формирующемся сообществе наряду с мягкими кораллами и водорослями появляются инкрустирующие фораминиферы (морские раковинные корненожки), мшанки*, серпулиды** и сверлящие моллюски *Litophaga* spp. На начальных стадиях сукцессии эти животные с известковыми скелетами и особенно корковые известковые водоросли играют основную роль в образовании устойчивого субстрата для осаднения личинок кораллов и их роста. Спустя 2-3 года поселения кишечнорастворимых начинают за-

метно преобладать, а через 4-6 лет с начала колонизации представители рода *Acropora* занимают уже обширные площади. Мы полагаем, что есть надежда на восстановление исследованных рифов, ибо здесь удалось найти единичные, молодые, вновь поселившиеся колонии одного из массовых видов кораллов Индопацифики — *Pocillopora verrucosa*.

Затем мы исследовали рифы островов Тхотю, Кон Дао и Тху, пройдя по тем же маршрутам, что и в 1984-1987 гг. и не выявили кардинальных долговременных изменений ни в морфологии их построек, ни в составе сообществ. По-прежнему хорошо различимы два типа рифов: структурный, с отчетливо выраженной физиографической зональностью (лагуна, риф-флет, или плато с многочисленными сцементированными поселениями кораллов и т.д.), и бесструктурный, характеризующийся наличием маломощных поселений корковых форм кораллов, которые окаймляют острова узкой полосой (100-200 м), не изменяя

*Мшанки (*Ectoprocta*) — тип беспозвоночных животных, водных, преимущественно морских, колониальных. Размеры отдельных особей не превышают 1-3 мм (прим. ред.).

**Серпулиды (*Serpulidae*) — семейство сидячих многощетинковых кольчатых червей (прим. ред.).



Промыленно-экспериментальная установка для искусственного выращивания фрагментов кораллов.

или почти не изменяя их подводный скалисто-каменистый прибрежный профиль и морфологию субстрата. Столь же неизменными остались и различия в сообществах островов Намзу в Сиамском заливе.

Радостно отметить, что на рифах с умеренной или слабой антропогенной нагрузкой, тем более в местах, где осуществляются природоохранные меры, сохраняются удовлетворительные, даже оптимальные условия для существования сообществ. Здесь субстрат в наибольшей степени покрыт разнообразными живыми кораллами, богата в видовом отношении и сопутствующая им фауна, включая рыб. Пример тому — рифы островов Че и Хон Ден в провинции Кхань Хоа, находящиеся под охраной государства, а также рифы Батлонгви архипелага Спратли. По результатам нашего исследования к благополучным местам можно причислить и острова Кондао, экосистема которых не подвержена явному антропогенному воздействию и не включает марикультурных хозяйств.

Сообщество рифов, подвергавшихся длительному внешнему воздействию, обычно характеризуется чрезмерным изъятием рыбы и многих экзотических животных, что приводит к нарушению естественных межвидовых взаимодействий. В последние годы на такие экосистемы особенно негативно влияют интенсификация рыболовства и марикультурных хозяйств, привносящих в водную среду дополнительные органические вещества и различные лекарственные компоненты, вызывающие ее эвтрофикацию* и интоксикацию гидробионтов. Примером тому являются рифы островов Намзу и отчасти острова Тху.

В прибрежных водах над коралловыми поселениями в районе островов Намзу постоянно барражируют рыбацкие лодки, оснащенные современными спиннингами и водолазными компрессорами со шланговым снаряжением. Происходит невиданный ранее,

непрекращающийся выборочный вылов определенных видов рыб, двустворчатых и голожаберных моллюсков, голотурий, что в итоге ведет к смещению и замещению трофических связей в сообществе. Например, те, кто служил пищей для моллюсков, избавляются от своих естественных врагов и начинают быстро размножаться, наращивая нагрузку на собственную кормовую базу. И наоборот, снижают свои «аппетиты» организмы, питавшиеся хищной гастроподой *Drupella*, вследствие чего она постоянно атакует и губит живые кораллы на рифах провинции Кхань Хоа в местах интенсивной марикультуры.

НОВЫЙ УСПЕШНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Многочисленные научные данные свидетельствуют о заметном ухудшении состояния коралловых рифов в глобальном масштабе*. Очевидно, необходимо решить, что мы хотим сохранять: общее разнообразие кораллов на специфическом рифе, его рыбные ресурсы или экосистему в целом. Изменения могут происходить на уровне индивидуума, населения, экосистемы или ландшафта. Длительность развития этих процессов различна, причем эффект от краткосрочных внешних воздействий может камуфлироваться последствиями долгосрочных. Если мы стремимся правильно оценивать состояние экосистем и причины трансформации сообществ, то здесь необходим непрерывный мониторинг естественных и антропогенных факторов.

Многие страны, в том числе и Вьетнам (где густонаселенные прибрежные города и поселки создают сильную антропогенную нагрузку на морские экосистемы), озабочены проблемой восстановления рифов и биологического разнообразия на них, есть попытки выращивания кораллов**. Наши эксперимен-

*Эвтрофикация — обогащение водоемов биогенными веществами, сопровождающееся повышением продуктивности растительности (прим. ред.).

*См.: Ю. Латыпов. Экосистема кораллового рифа. — Наука в России, 2008, № 2 (прим. ред.).

**См.: Ю. Латыпов. Коралловые рифы Вьетнама. — Наука в России, 2007, № 4, (прим. ред.).



Искусственно выращенные кораллы *Porites attenuata* и *Acropora valida*.

ты в этом направлении, проведенные в начале 2000-х годов, были успешны, и в настоящее время вьетнамская сторона заинтересована не только в сохранении существующей экосистемы, но и в искусственном расширении общей площади рифа.

В октябре 2010 г. на одном из охраняемых рифов, недалеко от города Нячанга нами были поставлены три экспериментально-промышленные установки по выращиванию кораллов с фрагментами колоний 15 различных видов. В апреле 2011 г. мы проверили, как протекает опыт, и результаты превзошли самые оптимистические ожидания: практически все колонии значительно выросли, увеличив количество ветвей и общие размеры в 1,5-1,7 раза, причем на каждой материнской ветви формируются 5-15 новых молодых веточек и отростков.

По истечении года прирост новых ветвей увеличился уже на 210-275%. Столь успешное развитие пересаженных фрагментов и формирование из них новых крупных колоний создали благоприятные условия для вселения сюда помацентровых коралловых рыб *Dascyllus reticulatus*, обычных для сообществ с участием различных видов кораллов. Для них характерен отчетливо выраженный хомминг (способность находить путь домой), и во вновь созданной экосистеме дасциллы сохраняют такое же поведение, что и на естественном рифе: при возникновении угрозы вся стайка скрывается среди спасительных ветвлений. Обычно взрослые рыбы живут группами в коралловых зарослях, причем редко отплывают от этого «леса» более чем на метр. Увы, инстинкт самосохранения, заставляющий дасциллов прятаться от опасности в привычное место, иногда служит причиной их гибели. Мне нередко удавалось наблюдать, как при извлечении колонии кораллов из воды рыбки не покидают ее, а лишь глубже забираются в гущу ветвей.

Опираясь на результаты эксперимента, специалисты нашего института, вьетнамского Института техно-

логических и прикладных исследований и фирмы Sanest, т. е. представители сторон, принимающих участие в данной работе и финансирующих исследования, приняли решение о размещении нескольких десятков экспериментальных установок вдоль побережья рифа.

Конечно, успех выращивания фрагментов кораллов в естественных условиях зависит от различных факторов при определяющей роли их видовой принадлежности и размера. Ускорению процесса способствует хорошее освещение и незначительное присутствие конкурентного макробентоса. Для нас очень важен приобретенный в ходе исследований опыт, ибо мы научились за относительно короткое время производить большое количество кораллов различных видов на определенной площади рифа. И материалы эксперимента могут быть использованы не только для восстановления естественных их поселений, но и для культивирования отдельных экземпляров и колоний, что позволит удовлетворить потребности коллекционеров, а значит, уменьшить риск негативного воздействия на уникальные экосистемы. Другое условие поддержания их биоразнообразия — создание широкой сети заповедников и национальных парков, возможно, искусственных рифов.

ЭКЗАМЕН ЧЕЛОВЕЧЕСТВА НА ЗРЕЛОСТЬ

Человечество должно осознать: мы навредили коралловым рифам и без нашей помощи они не выживут. Их экосистемы могут положительно откликнуться на активные спасательные действия людей и будут приносить пользу и радость познания всем будущим поколениям. Но для этого основная стратегия деятельности государственных учреждений должна быть направлена на охрану существующих ресурсов. По мнению ученых, нужна регламентация хозяйственной деятельности, а также широкое разъяснение местному населению, рыбакам и туристам реальной уг-



Стайка дасцилусов нашла свой «дом» в новом поселении кораллов.



Экосистема рифа откликается на активные спасательные действия человека.

розы гибели рифов с целью привить им сознательное и бережное отношение к этому национальному и общемировому достоянию. Опыт показывает: запретительные меры без воспитания и просвещения жителей, призванных заботиться о своих природных богатствах, не эффективны.

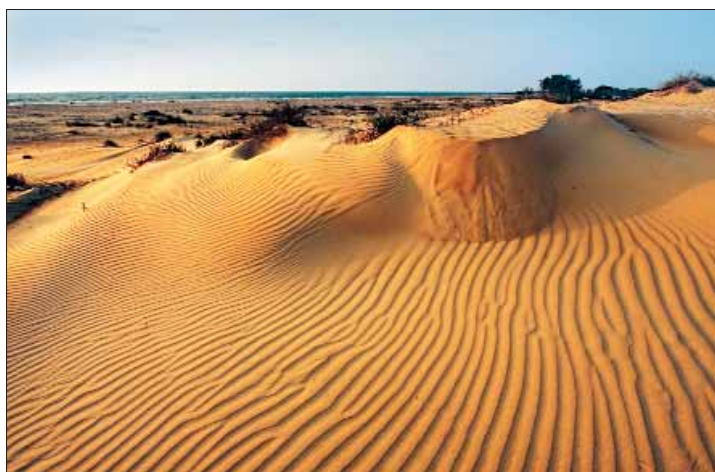
Уже сейчас очевидно, что любое масштабное рыболовство на рифах приводит к дестабилизации экосистемы и подрыву ее привлекательности. Следовательно, стоит задуматься о его запрете в охраняемых зонах. И таких территорий должно стать больше. Плодотворной данная практика оказалась для Большого барьерного рифа Австралии и некоторых островов во Вьетнаме. Администрация природоохраненных парков Австралии реализовала зональный план, регламентирующий все виды хозяйственной, рекреационной и строительной деятельности. И теперь да-

же для научных исследований в любом месте рифов требуется специальное разрешение.

Перечисленные меры дали позитивные результаты, несмотря на все возрастающий наплыв туристов и любителей подводного плавания на некоторых рифах Южного Вьетнама, связанный с невозможностью посещения излюбленных мест активного отдыха в Таиланде и Индонезии после цунами 2004 г. И хочется верить в нашу способность решить назревшие экологические вопросы — в первую очередь пересмотреть подход к эксплуатации ресурсов океана.

Иллюстрации предоставлены автором

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕРЕГОВОЙ ЗАЩИТЫ



В августе 2011 г. в Новосибирске прошла международная конференция «Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акваториях водоемов». Форум не случайно состоялся второй раз за последние годы в Академгородке СО РАН: здесь находится один из самых в этом смысле интересных объектов в нашей стране — водохранилище, названное Обским морем. Оно выбрано соответствующим полигоном для получения знаний о новых технологиях береговой защиты.

Впрочем, как свидетельствует участник форума корреспондент газеты «Наука в Сибири», об этой проблеме люди думали еще в средние века, особенно в XV в. Причем наиболее успешным их подход тогда принадлежал немцам: разрабатывая на Балтике янтарные месторождения, они пришли к выводу, что наилучшие берегоукрепляющие сооружения — искусственные пля-

жи. Удачен подход был и в США: уже давно вдоль всего атлантического побережья Америки тянется дюнный пояс, по которому нельзя ходить (только по специальным деревянным мосткам). Аналог указанного в России есть в Анапе.

Но вернемся к упомянутой конференции. На ней обсуждали, в чем заключаются новые технологии укрепления берегов, если самый эффективный подход — обычный пляж, хотя это дело вовсе не простое: только привезти и насыпать материал на береговую линию — не решение проблемы, тем более, что данное мероприятие может ускорить абразию берега. Надо тщательно подбирать соответствующие уклоны, крупность материала, разбираться в геологии и геоморфологии интересующего вас места.

Дюны.

**Искусственные дюны.****Искусственное укрепление подвижных дюн.****Искусственные укрепления берега.**

Именно так подошли специалисты в Обском водохранилище, где впервые в нашей стране с 1958 г. начали создавать искусственный пляж, который затем «трудился» без какой-либо реконструкции 25 лет.

В заключение, обсуждая дальнейшую направленность работ по защите берегов и акваторий водоемов, доктор географических наук, председатель рабочей группы «Морские берега» Научного совета РАН по проблемам Мирового океана Леонид Жиндарев предложил выделить три основных момента. Раньше, сказал он, мы отделяли процессы, происходящие на водохранилищах или их берегах, от аналогичных на природных внутренних морях. А с некоторых пор совместили эти объекты и теперь не разделяем их, ибо убеждены (и это подтверждает практика): принципиальных отличий нет. Процессы развития те же самые, факторы разрушения — тоже: ветер, волны, их взаимодействие с берега-

ми. А водохранилище надо рассматривать как естественную лабораторию.

Существуют, развил ученый свою идею, три ранга последних: первый, самый низший — это волновые лотки, где моделируются соответствующие процессы. Следующий — водохранилища. Более крупный объект — Каспийское море, которое ведет себя «неадекватно». Сама природа обуславливает колебания его уровня, и соответственно изменения процессов в нем. И водоемы третьего ранга — природные моря с их собственным содержанием.

Садыкова Е. Берега и их защитники. — Газета «Наука в Сибири», 2011, № 34–35

Иллюстрации из интернет-источников

Материал подготовила Ольга АРТЮХИНА

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ

Доктор геолого-минералогических наук Анатолий НИКИШИН,
заведующий кафедрой региональной геологии и истории Земли
геологического факультета
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Сегодня мы сравнительно хорошо знаем геологическое строение нашей планеты. Благодаря успехам советских (затем — российских) и американских космических программ получены подробные сведения о планетах земной группы. И на этой основе можно попытаться понять, как образовалась Земля, разгадать этапы ее истории.

Для начала вспомним, что достоверно известно о строении нашей планеты. У твердой Земли радиусом 6378 км три химических оболочки: преимущественно железное ядро в центре (глубины 2890-6378 км), силикатная мантия из ультраосновных* магматических пород (35-2890 км) и кора из силикатов, имеющих состав от основного до кислого (0-35 км). На поверхности — литосфера — каменная «оболочка» толщиной 50-300 км, твердая в отличие от подстилающей ее астеносферы и потому способная двигаться в горизонтальном направлении. Причем подошва этого плывущего «айсберга» проходит примерно по изотерме 1250°, т.е. глубже его разогретое вещество может испытывать конвекцию.

Земная кора под океанами и континентами (вместе с шельфами) неодинакова. В первом случае ее мощность составляет порядка 6 км, состав базальтовый и образуется она в осевых частях срединно-океанических хребтов — в зонах раздвижения литосферных плит по мере того, как возникающие трещины заполняются продук-

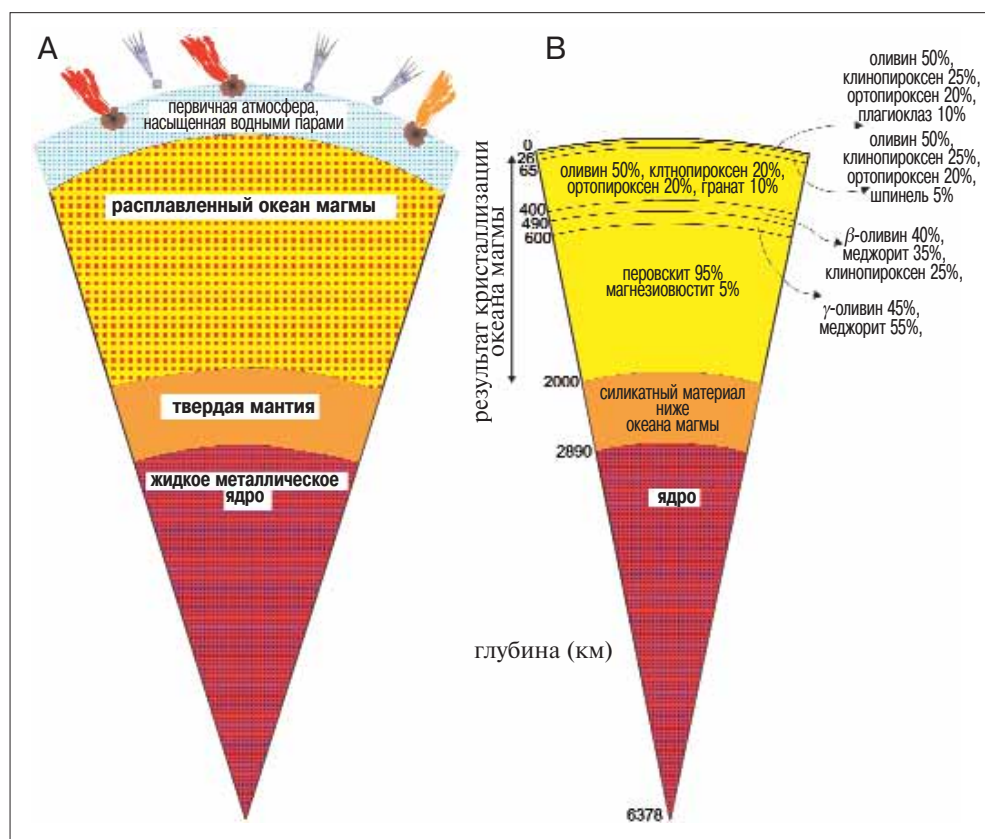
тами выплавления из мантии. Континентальная же кора имеет типичную толщину 25-60 км и в среднем андезитовый* состав; причем верхняя ее часть более кислая (гранитоидная), а нижняя — основная (базальтовая). Ее вещество формируется при частичном плавлении базальтов и из компонентов мантии.

Ныне большинство специалистов признают: на Земле действует тектоника литосферных плит**. Основы этой теории сформированы многими геологами и геофизиками, начиная с работ немецкого ученого Альфреда Вегенера (1910-1912 гг.), канадца Тузо Уилсона (1965 г.), американца Джейсона Моргана (1968-1972 гг.), француза Ксавье Ле Пишона (1968 г.), англичанина Дэна Маккензи (1967 г.). В России заметный вклад в разработку данного направления внесли член-корреспондент РАН (с 1991 г.) Лев Зоненшайн (Институт океанологии РАН) и доктор геолого-минералогических наук Леонид Парфенов из Института геологических наук СО РАН, акаде-

*Силикатные горные породы ультраосновного состава содержат менее 45% SiO₂, основного — 45-52%, кислого — больше 70% SiO₂ (прим. ред.).

*Андезит (от названия горной системы Анды в Южной Америке) — вулканическая горная порода среднего состава, нормальной щелочности. Содержание кремнезема (SiO₂) составляет 52-65% (прим. ред.).

**См.: Р. Баландин. Новый шаг в познании океана. — Наука в России, 2011, № 3 (прим. ред.).



Модель строения Земли в конце ее аккреции (А) и предполагаемый минеральный состав мантии и коры, сформировавшийся при кристаллизации океана магмы толщиной 2000 км (В). По Элкинс-Тэнтон, 2008.

мики Виктор Хаин (Геологический институт РАН, Москва) и Николай Добрецов (Институт геологических наук СО РАН) и др. Ученые считают, что литосфера Земли разделена на плиты (порядка 15), движущиеся относительно друг друга. Там, где они расходятся, образуется океаническая кора и океаны, а где сближаются — зоны глубоководных желобов с погружением литосферы в мантию (субдукция).

ОТ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНЕТЫ — ДО ТЕКТониКИ ПЛИТ

Модель геологической эволюции Земли постоянно совершенствуется и этой проблеме посвящено огромное количество публикаций. Но сегодня наиболее реалистичным представляется следующий сценарий.

Около 4,6 млрд лет назад в ходе аккреции (так называют процесс падения на космическое тело вещества из окружающего пространства) из роя тел силикатного и металлического состава, газов и комет образовалась Земля. Длительность ее формирования оценивается в 10-100 млн лет: она росла по мере того, как к первоначальной основе присоединялись все новые части разных размеров, а начиная с некоего радиуса удар от их падения вызывал сильное нагревание и плавление внешних зон. Планета раскалилась, ее вещество приблизилось к температуре плавления, внешняя же оболочка толщиной в сотни километров действительно расплавилась и появился так называемый океан магмы. В этих условиях плотные металлические компоненты

погрузились вниз, образовав преимущественно железное жидкое ядро, а силикатные стали мантией. Большая часть воды не входила в состав полурасплавленного тела Земли, а была включена в плотную атмосферу из пара и газов (в основном двуокиси углерода и азота).

В конце описанного процесса аккреции, как предполагают специалисты, на Землю упало гигантское космическое тело, образовав в веществе планеты (т.е. в современной мантии) огромную воронку и вызвав обильный его выброс на околоземную орбиту. Вероятнее всего, именно из этого «выплеснувшегося» расплава сформировалась Луна, ибо ее средний состав и соотношение компонентов в земной мантии подобны.

Но проследим историю дальше. Около 4,4-4,3 млрд лет назад поверхность Земли стала остывать из-за значительного уменьшения потока космических тел, и океан магмы начал покрываться твердой корой (возможно, базальтового и ультраосновного состава), на которой продолжавшаяся метеоритная бомбардировка оставляла многочисленные кратеры разного размера, а в местах падения астероидов изливались лавы. Как только температура верхней оболочки планеты стала меньше точки кипения воды, огромное количество последней конденсировалось из атмосферы и образовался Мировой океан. Часть его влаги выделилась из мантии при ее охлаждении и кристаллизации. В итоге около 4,3 млрд лет назад здесь сложились условия для возникновения примитивных форм жизни. Была ли она привнесена тем или иным путем из космоса (что более

вероятно), зародилась ли в ходе случайных химических реакций на Земле — неясно*.

Тектоника плит началась около 4,3–4,0 млрд лет назад благодаря сочетанию разных факторов: конвекционных течений в мантии, всплытия из ее нижних слоев тел с относительно более высокой температурой и меньшей вязкостью (плюмов), наличия лав ультраосновного состава (коматиитов), создающих уплотненные участки, способные затонуть в астеносфере (слой мантии, имеющий пониженную твердость и вязкость). Последнее можно рассматривать как прообраз процесса субдукции**. Так или иначе, именно тогда литосфера Земли разделилась на плиты, в участках их раздвижения формировалась молодая океаническая кора, а в зонах сдвижения обособлялись области скучивания. Над ними стала образовываться магма андезитового состава — основа для появления вещества коры будущих континентов.

В архее (4,0–2,5 млрд лет назад) наступило господство тектоники плит и мантийных плюмов. Первичная кора была полностью погружена в мантию либо переплавилась. Над зонами субдукции стали образовываться вулканические дуги с базальтами и андезитами. Столкновение их привело к появлению первых участков (ядер) континентальной коры. Тогда-то и сформировалось не менее 50–70% объема вещества современных материков с шельфами. Мантия была более горячей, чем современная, и субдуцированная в нее литосфера быстро разогревалась, не проникая в нижние слои. Из раскаленной мантии выплавлялось большое количество лав ультраосновного состава — коматиитов. Земная поверхность в основном представляла собой водный океан с корой базальт-коматиитового состава, наружу выходили многочисленные вулканические дуги и плато (внутриплитные и межплитные).

*См.: М. Федонкин. Зарождение жизни: от истоков к природе настоящего. — Наука в России, 2011, № 6 (прим. ред.).

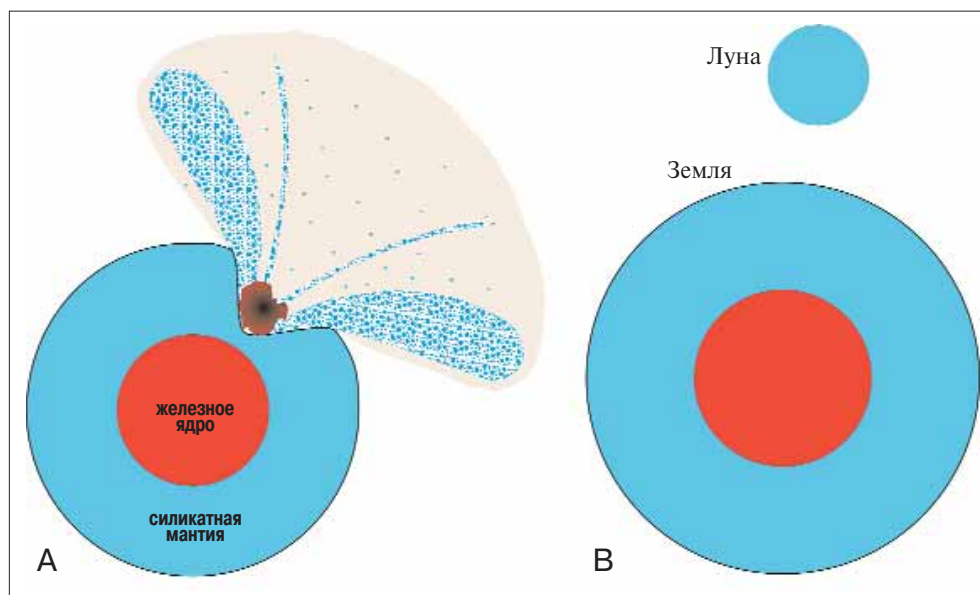
**Субдукция — погружение литосферных плит с океанической корой в мантию Земли на глубины сотни и более километров (прим. авт.).

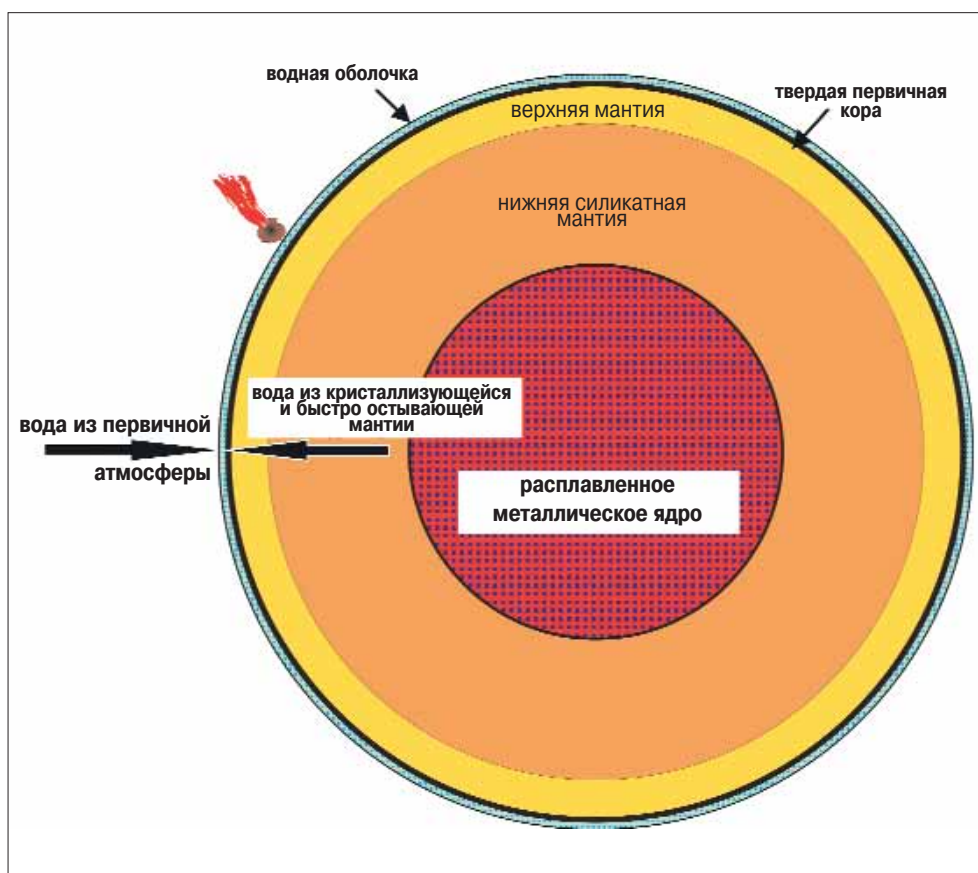
В океане существовала примитивная жизнь: в породах возрастом ~3,8 млрд лет известны изотопы, образовавшиеся в биологических циклах, а в породах моложе 3,5 млрд лет найдены следы биоты. К рубежу 2,5 млрд лет назад (конец архея) в ходе столкновения многочисленных континентальных «ядер» с континентальной корой и в процессе крупномасштабного гранитоидного магматизма сформировались крупные материк (возможно, один — первый суперконтинент Кенорлэнд). В пользу этого положения свидетельствует возраст древнейших озерно-аллювиальных систем, известных в Южной Африке (серия Витватерсранд) — 2,8–2,9 млрд лет. А что же климат? К тому времени он стал сопоставим с кайнозойским: если в начале архея вода в океане была горячее, то рубеж 2,4 млрд лет назад знаменуется первым известным глобальным Гудзонским оледенением.

В протерозое-фанерозое (2,5–0 млрд лет назад) общее охлаждение Земли привело к тому, что погруженное в мантию (субдуцированное) вещество стало достигать ее нижних слоев, а это упорядочило всю систему конвекции, установились долговременные тектонические суперконтинентальные циклы. Как это выглядело? Континенты непрерывно распадались и собирались, океаны раскрывались и закрывались, но на фоне кажущегося хаоса через каждые 750 млн лет образовывались относительно стабильные суперконтиненты. Менялся состав океанической коры от коматиит-базальтового к базальтовому, уменьшалась ее толщина. В зонах столкновения материков и на их активных окраинах непрерывно формировались горы, максимальная высота которых плавно увеличивалась.

В этот же период развивалась жизнь. Отметим важнейшие рубежи ее эволюции: около 2 млрд лет назад — формирование клеток с ядрами и многоклеточных организмов; 630–600 млн лет назад (венд) — широкое распространение многоклеточных морских бесскелетных организмов; 542 млн лет назад (начало кембрия) — по-

Модель образования Луны:
А — падение на Землю
 большого космического тела;
В — формирование
 из вещества земной мантии,
 выброшенного при ударе
 на орбиту, новой планеты.





Предполагаемый разрез Земли около 4,3 млрд лет назад и схема образования первичного водного океана.

явление разных типов скелетных животных; силур — появление наземной флоры и фауны.

За последние 2,5 млрд лет климат был относительно стабилен: эпохи глобальных потеплений сменялись менее продолжительными периодами глобальных оледенений (0–10, 290–325, 445–455, 625–700 млн лет назад и ранее). Атмосфера в позднем протерозое (от 1 млрд лет назад) стала содержать заметное количество кислорода и постепенно приближалась по составу к современной.

ПОЯВЛЕНИЕ ВОДЫ

Исключительно важно понять, откуда взялась вода на поверхности нашей планеты. Мы уже упомянули два теоретически возможных варианта, широко обсуждаемых в литературе: выпадение из древней атмосферы после завершения горячей аккреции Земли или выделение в атмосферу из магмы толщиной более 2000 км при кристаллизации последней. Остановимся на этих положениях подробнее, ибо формирование водного океана и развитие в нем жизни во многом предопределили дальнейшую геологическую историю.

Итак, теоретически вещество мантии способно содержать воду: в переходной зоне (глубина 410–670 км) количество H_2O достигает 2–3 wt% (весовых процентов). В нижних слоях — до 0,15 wt%, причем максимальная масса влаги здесь, по оценкам разных экспертов, равна 2,5 массам Мирового океана. Далее, в ходе аккреции Земли вода могла не входить (по крайней мере в

большом количестве) в состав горячей планеты, а в значительной степени оставаться в атмосфере, изначально принесенной в телах ледяных комет и компонентах метеоритов. И мы вправе предположить: она поступала в океан и из атмосферы, и из мантии.

Геологические данные свидетельствуют: вода возникла на земной поверхности более 4 млрд лет назад. Например, по данным изотопного анализа $\delta^{18}\text{O}$ и Hf (гафния), цирконы* возрастом 4,1–4,3 млрд лет образовывались в породе с участием H_2O . Из древнейших на нашей планете осадков Исуа (западная Гренландия), существующих 3,8 млрд лет и содержащих органический углерод, сложен подводный аккреционный комплекс над зоной субдукции. Выходит, тектоника плит и океан с зародившейся в нем жизнью уже были в то время. Имеющиеся математические модели показывают: 4 млрд лет назад объем воды достигал максимума за всю историю Земли.

Первичная кора, выделившаяся при кристаллизации океана магмы, нигде не сохранилась (правда, неясно происхождение детритовых цирконов возрастом 4,0–4,4 млрд лет — возможно, часть из них формировалась в гранитоидных телах коры), но понятно, что она не могла иметь крупных тектонических депрессий типа океанических ванн. Глубокие бассейны возникали тог-

*Циркон — силикат циркония (ZrSiO_4). Этот минерал содержит, как правило, 1–4% элемента гафния, изоморфно замещающего цирконий в кристаллической решетке (прим. ред.).

да только в ударных впадинах (гигантских метеоритных кратерах). И лишь тектоника плит изменила ситуацию — создала резервуар для водного океана. Однако дата ее начала дискуссионна. Мы уже назвали, описывая сценарий геологической истории Земли, цифры — около 4,3–4,0 млрд лет назад. Какие же данные свидетельствуют в пользу такой точки зрения?

ТЕКТОНИКА ПЛИТ: ТОЧКА ОТСЧЕТА

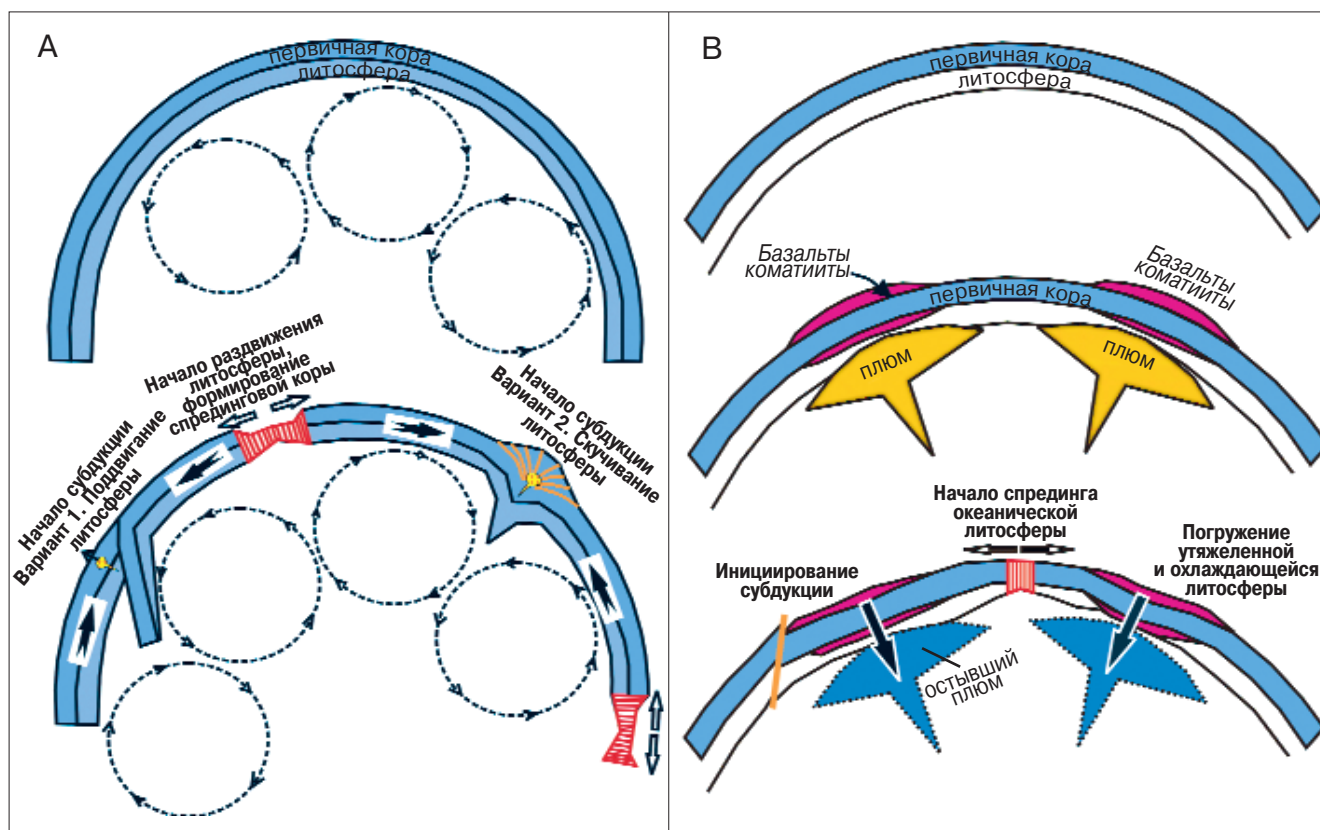
Упомянутый осадочный и вулканический комплекс Исуа формировался 3,8 млрд лет назад в ходе погружения океанической коры во фронтальной части вышележащей тектонической плиты (специалисты называют это обстановкой аккреционной призмы). Далее. Изотопный и геохимический анализы редкоземельных металлов свидетельствуют: в основных — ультраосновных породах соотношения элементов Nd/Th (неодим/торий) и Th/U (торий/уран) резко изменились около 3,6 млрд лет назад, что указывает на наличие в тот период холодных, тяжелых краев литосферных плит, претерпевших субдукцию. Согласно геохимическим данным, как минимум 3,5 млрд лет назад существовали кратоны — участки континентальной земной коры, не испытавшие значительных складчатых деформаций, но имеющие утолщенные литосферные «корни» (зарубежные коллеги поэтически именуют их «мантийные кили»). Выходит, уже тогда действовал процесс удвое-

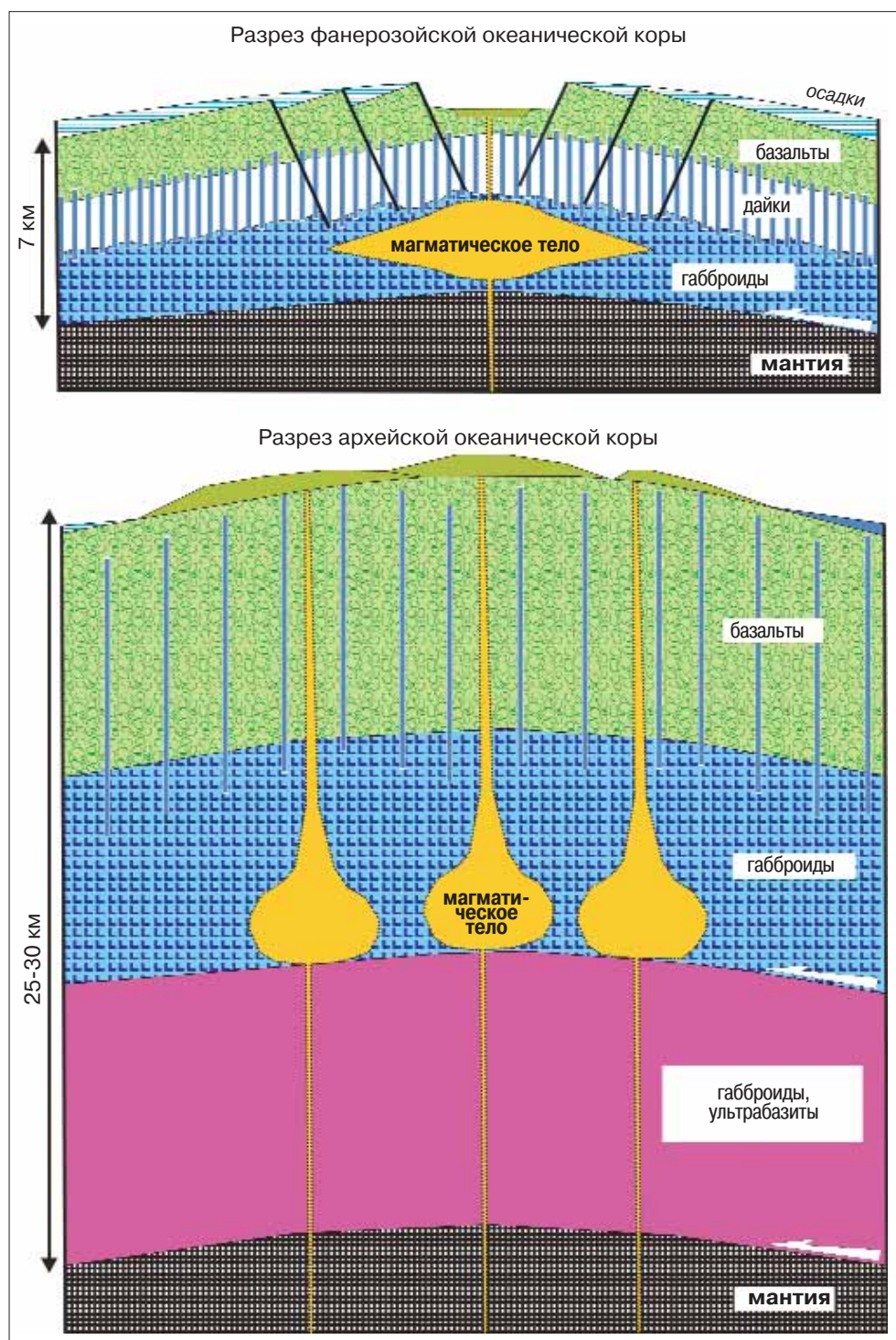
ния толщины литосферы при поддвигании одной ее плиты под другую.

Ряд ученых (американский геолог Кент Конди, профессор Альфред Кронер из Университета Майнца, доктора геолого-минералогических наук Александр Слабунов из Института геологии Карельского научного центра РАН и Андрей Щипанский из Института геологии РАН) обобщили геологические данные о времени зарождения тектоники плит и показали: возраст древнейших структур, трактуемых как следствие этого процесса, превышает 4 млрд лет. Например, если типичным офиолитам (комплексам горных пород, признанных всеми специалистами в качестве образований океанической коры) менее 1 млрд лет, то их архейским аналогам — частям комплексов Исуа и Нуввуагиттук (окрестности Гудзонова залива) — около 3,8 млрд и 4,3 млрд лет соответственно.

Палеомагнитные исследования показывают, что перемещения кратонов относительно друг друга происходили 2,4–2,7 млрд лет назад (для более ранних времен корректные данные отсутствуют). Архейская мантия, согласно геохимическим данным, была примерно на 100–250 °С горячее современной, а значит, характер тектоники плит в тот период отличался от имевшего место в фанерозое. Кроме того, уже 3,45 млрд лет назад существовало магнитное поле с интенсивностью на 30–50% меньшей, чем у современного. Следовательно, в целом общая геодинамика Земли тогда и сегодня были сходны.

Модели: А – активного начала тектоники плит; В – пассивного начала тектоники плит.





Наконец, по данным численного компьютерного моделирования субдукция литосферы невозможна, если температура верхней мантии на 250° выше современной. То есть на ранней Земле вскоре после ее аккреции этот процесс физически не мог протекать.

Итак, время начала тектоники плит на Земле примерно определено — 4,0–4,3 млрд лет назад, но неизвестно, как все происходило. Есть два сценария. Одни ис-

следователи допускают, что такой процесс стартовал как единое глобальное кратковременное событие, другие считают это невероятным — по их мнению, он зарождался постепенно в разных местах. Существует и два варианта объяснения феномена тектоники плит — «активный» и «пассивный». Первый — мантийная конвекция привела к расколам единой литосферной плиты и относительным перемещениям ее многочисленных

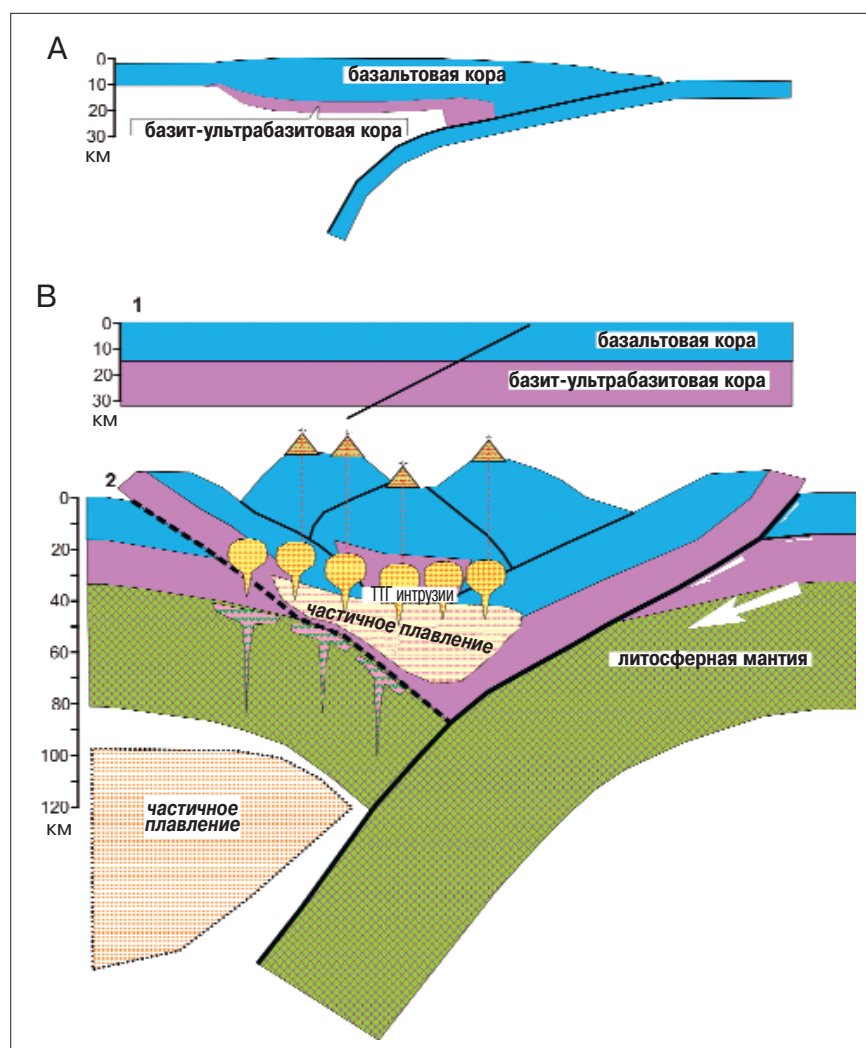
фрагментов с образованием первых линейных океанических депрессий. Второй — большое количество тяжелой коматиитовой магмы, выходящей в кору, утяжеляло литосферу и, охлаждаясь, ее части погружались в мантию, запустив тем самым механизм тектоники плит.

В связи с вышесказанным интересно проследить за изменением состава океанической коры по мере ее развития. Известно, что возраст древнейших офиолитов, сходных с кайнозойскими, насчитывает около 1,95 млрд лет (например, комплекс Джормуа в Финляндии). С другой стороны, есть постулат: океаны существовали уже в архее. В последние годы принято считать разрезы многих архейских зеленокаменных поясов фрагментами сформированной к этому геологическому периоду океанической коры. В архее она была той же мощности, что кайнозойские океанические плато типа Онтонг-Джава* или Исландское, и формировалась из значительно более горячей мантии, чем в нынешней Земле.

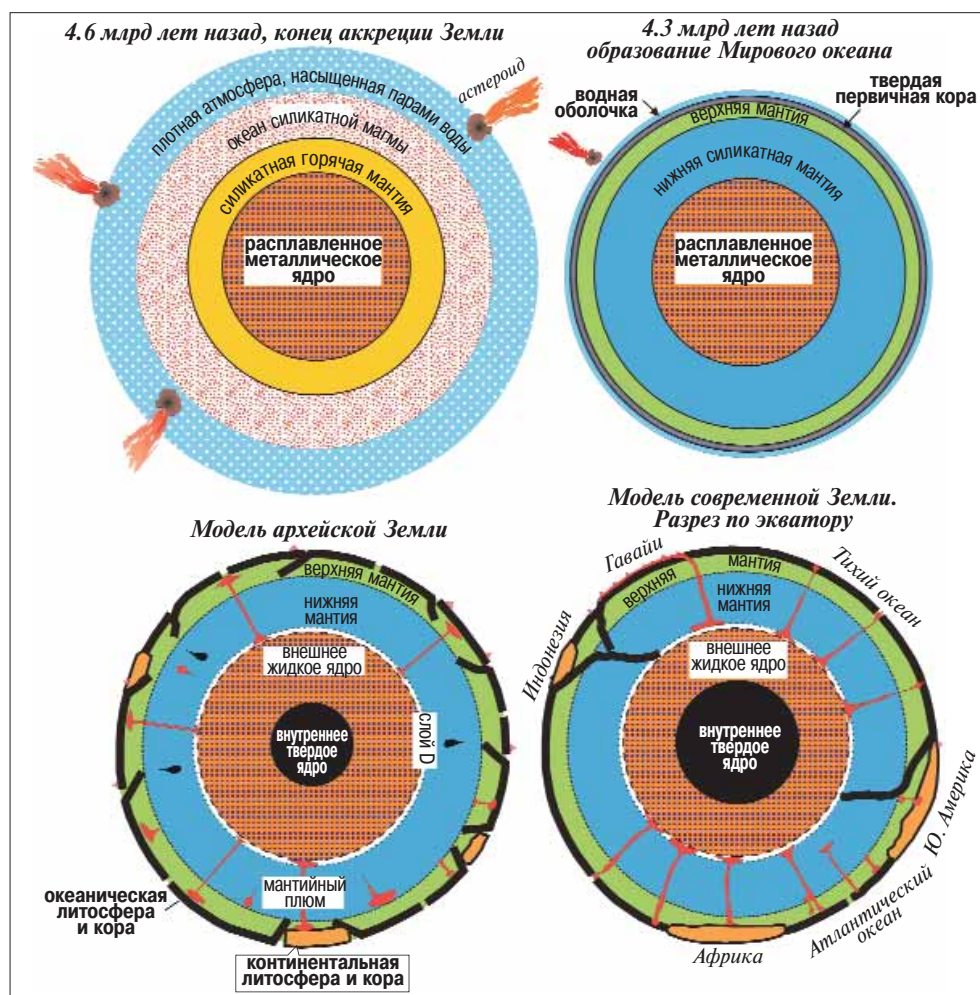
*Онтонг-Джава — атолл в северной части архипелага Соломоновы острова, именем которого назвали большое подводное плато (прим. авт.).

СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ ЦИКЛЫ

Но вернемся в протерозой-фанерозой, поскольку огромный объем научной литературы и многие действующие международные проекты посвящены сложившимся тогда суперконтинентальным циклам. Суть существующей концепции состоит в том, что за последние 2,5–2,7 млрд лет все имеющиеся континентальные массы то объединялись, то возникший суперконтинент распадался на множество небольших материков. Ныне достаточно строго обосновано существование протоконтинента Пангеи с максимумом объединения на границе перми и триаса (около 250 млн лет назад). Многие авторы доказывают, что с большой вероятностью около 1 млрд лет назад на Земле был суперконтинент Родиния. Меньше аргументов в пользу возникновения аналогичного гиганта под названием Колумбия около 1,8 млрд лет назад. Еще скромнее геологические свидетельства существования сверхматерика Кенорланд 2,5–2,7 млрд лет назад. Если все они действительно были, то длительность суперконтинентального цикла оценивается в 750 млн лет. Времена образования названных выше огромных материков совпадают с эпохами мак-



Модель современной (А) и архейской (В) субдукции и формирования вещества архейской континентальной коры



симального наращивания объема вещества новой континентальной коры.

Предположим, гипотеза суперконтинентальных циклов справедлива. Тогда в последние 2,5 млрд лет тектоника Земли была сравнительно однообразной: сначала образовывался суперконтинент, потом шаг за шагом он распадался. Соответственно, глобальный океан сменялся множеством сравнительно небольших, разделенных материками. Такой сценарий многократно повторялся, причем постепенно увеличивался объем континентальной коры, росла суммарная площадь материков, а водное пространство, напротив, уменьшалось.

На фоне общего охлаждения Земли в протерозое-фанерозое естественно допустить плавное уменьшение температуры в мантии, а значит, и определенную роль плюмового магматизма: постепенно значение океанических плато с утолщенной корой уменьшалось, а средняя глубина океанов возрастала.

Сегодня ученые не предполагают у Земли в архее наличия континентальных суперциклов, поскольку в тот период в условиях горячей мантии субдукция была неглубокой и погруженное вещество не опускалось в нижние слои, общемантийная конвекция не формировалась. Причем отсутствие последней приводило к

более хаотической тектонике плит, чем в протерозое-фанерозое.

Итак, современные геологические данные не противоречат следующей теории: Земля образовалась в ходе горячей аккреции, а вся ее история (например, появление воды и Мирового океана) связана с охлаждением планетного тела. Около 4-4,3 млрд лет назад благодаря зарождению процесса тектоники литосферных плит возникли океаны и ядра будущих континентов, начал формироваться новый тип коры. Однако в архее площадь океана еще преобладала, погружение плит в мантию заканчивалось в верхних ее слоях и значительную роль в тектонике планеты играли явления, связанные с движением мантийных плюмов. Зато в протерозое-фанерозое стали главенствовать суперконтинентальные циклы. Причем в целом архейская океаническая кора отличалась от фанерозойской большими толщиной и ультраосновным составом. Поэтому, вероятно, и типичная глубина океанов не совпадала с современной и составляла около 1-3 км.

Иллюстрации предоставлены автором

ОСВОЕНИЕ УДОКАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



В августе 2011 г. в День шахтера, который много лет подряд отмечает наша страна, газета «Наука в Сибири» рассказала о Забайкальском крае — обширном полигоне для развития горных наук в России. И не случайно: здесь доказано нахождение около 38% общероссийских запасов плавикового шпата, более 25% меди, 27 — молибдена, 16 — ниобия, 18 — тантала, 9 — свинца, 7 — золота, 18% — титана, много редкоземельных элементов и т.д.

При этом, отметила газета, одним из самых сложных для эксплуатации в стране в целом является Удоканское месторождение медистых песчаников с сопутствующими им серебром и золотом. Причем его площадь составляет свыше 30 км², перепад высот поверхности соответствующих пластов в вертикальном разрезе — около 500 м, участки рудной минерализации чередуются с «пустыми» горными породами.

Эти залежи были открыты в Забайкалье, в Каларском районе геологом Елизаветой Буровой в 1949 г. Но полностью оценены позже, и в 1952 г. там организова-

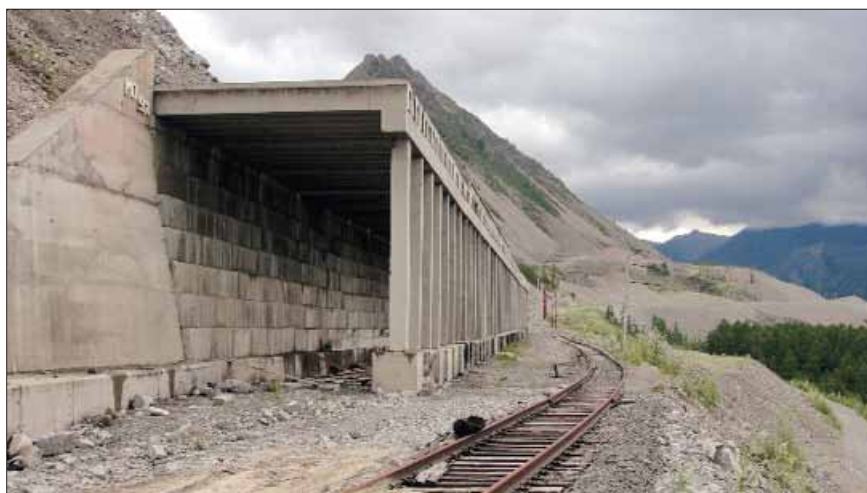
ли специальную геолого-разведочную партию, преобразованную затем в экспедицию. А в 1953-1958 гг. был выполнен большой объем работ по бурению разведочных скважин и геолого-технической оценке руд. И стало ясно: запасы меди здесь составляют свыше 1 млн т, т.е. месторождение было отнесено к уникальным. В 1960-1975 гг. осуществлены уже детальные подсчеты запасов и выделены технологические типы и сорта руд, выяснены условия их залегания.

В последние годы природные сложности данного места и актуальность его освоения требовали технического и хозяйственного развития всего прилегающего района. Этим занялся коллектив Читинского государственного университета, возглавляемый доктором технических наук Юрием Резником. Так, в 2007 г. совместно с губернатором Забайкальского края Ренатом Гениатулиным, петрографом и текто-

Вид с хребта Удокан.



Удоканское месторождение меди.



**Освоение
Удоканского месторождения.**

ником академиком Николаем Добрецовым на базе Института горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, возглавляемого членом-корреспондентом РАН Виктором Опариным, был создан Читинский филиал упомянутого академического учреждения во главе с доктором технических наук Артуром Секисовым.

Они с сотрудниками по-новому подошли к решению задачи по переработке удоканских руд. Речь, в частности, идет о том, что район характеризуется значительным перепадом высот (свыше 1000 м) и повышенной сейсмичностью (количество слабых, т.е. составляющих десятки долей балла, фиксируемых подземных толчков иногда достигает двадцати и более в сутки). В результате большие объемы (млрд т) извлекаемых руд и вскрышных пород могут спровоцировать развитие опасных процессов в карьере: разрушить целостность бортов, отвалы вскрышных по-

род потеряют устойчивость, что, в свою очередь, приведет к подвижке больших объемов горной массы. Вот почему принятое ранее решение о «взятии» Удоканского месторождения как единого гигантского карьера — необоснованное, нуждается в новом подходе в 2012 г.

Ныне развернут поиск и других прорывных технологий в данной местности, чему способствует единство команды различных научных направлений.

Секисов А. и др. Забайкальский край — обширный полигон для развития горной науки. — Газета «Наука в Сибири», 2011, № 33

Иллюстрации из интернет-источников

Материал подготовила Ольга АРТЮХИНА



Журнал «Вестник Российской академии наук» — орган Президиума РАН. При его создании в 1930 г. перед ним ставилась задача объединения научного сообщества, обсуждения общезначимых научно-организационных проблем. На протяжении 80 лет журнал ведет своего рода летопись Академии наук, освещая работу ее общих собраний, заседаний Президиума, состояние научных исследований по самым разным направлениям фундаментальной науки. Главными редакторами и членами редакционной коллегии «Вестника РАН» всегда были выдающиеся ученые и организаторы науки. Ныне журнал возглавляет президент Российской академии наук академик Ю.С. Осипов.

РЫБОЛОВСТВО И АКВАКУЛЬТУРА РОССИИ

Академик Геннадий МАТИШОВ,
директор Мурманского морского биологического института
Кольского научного центра РАН,
доктор биологических наук Павел БАЛЫКИН,
главный научный сотрудник Южного научного центра РАН,
доктор биологических наук Елена ПОНОМАРЕВА,
заведующая отделом водных биологических ресурсов бассейнов
южных морей Южного научного центра РАН

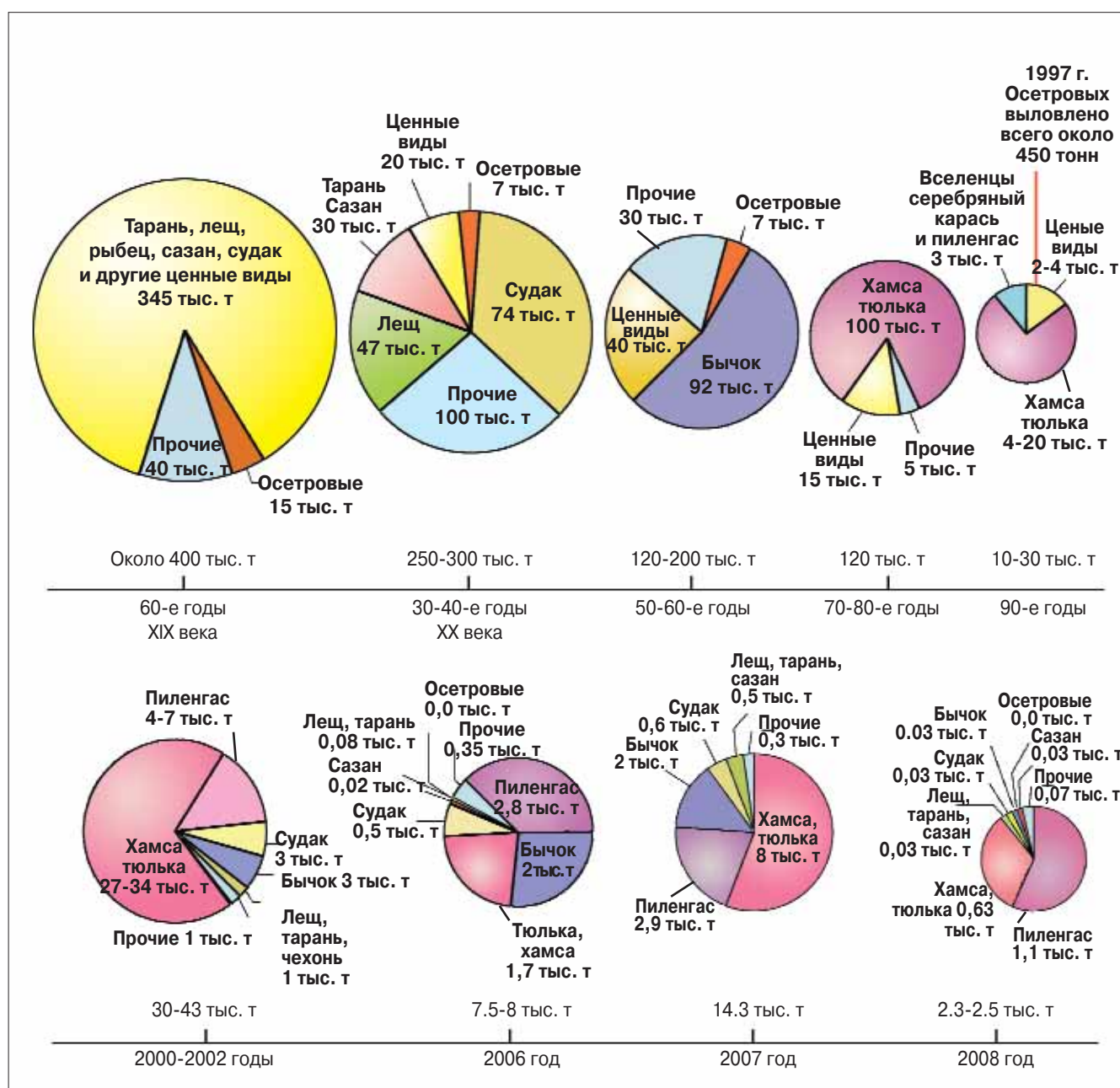
**Для населения морских стран рыба и морепродукты —
главный продукт питания. Поиск новых районов рыболовства,
оценка запасов промысловых рыб —
важная социально-экономическая задача.
Но как следует промыслить, чтобы рыба не исчезла?
Об этом рассуждают авторы статьи.**

В 2009 и 2010 гг. российский улов рыбы составил 3,7 и 4,1 млн т соответственно, что значительно меньше, чем в советский период. Наиболее высокие уловы отмечались в 1980-е годы, когда в год они достигали 11,4 млн т и по этому показателю СССР поочередно делил первое место с Японией.

Ежегодное потребление рыбной продукции на душу населения достигало 22-24 кг, что соответствует медицинским нормам. По оценке Росрыболовства, в 2009 г. эта цифра уменьшилась до 13,2 кг. Руководство ведомства объясняет сокращение потребления рыбы прекращением работы российского флота за пределами собственной экономической зоны. Действительно, советский рыболовный флот вылавливал в других районах Мирового океана 5,2-5,6 млн т морепродуктов. При этом Советскому Союзу удавалось избегать жесткой конкуренции за морские сырьевые

ресурсы с другими странами, поскольку велся промысел преимущественно тех рыб (сельдь, ставрида, скумбрия, мойва, иваси, сардинелла, хек и др.), которые обеспечивали наибольший улов. Теперь, когда Россия стала страной с рыночной экономикой, неизбежна конкуренция с другими государствами за океанские биоресурсы.

Азовский и Каспийский бассейны долгое время были основными районами отечественного рыболовства, причем они поставляли ценные породы рыб, такие как осетровые, белорыбица, кумжа, судак, лещ и др. Только с развитием океанического промысла после Великой Отечественной войны в уловах СССР стали доминировать морские виды — сельдевые, тресковые, камбаловые и пр. К этому времени запасы рыб в южных морях сократились вследствие перелова. Если в прошлом уловы в каждом из



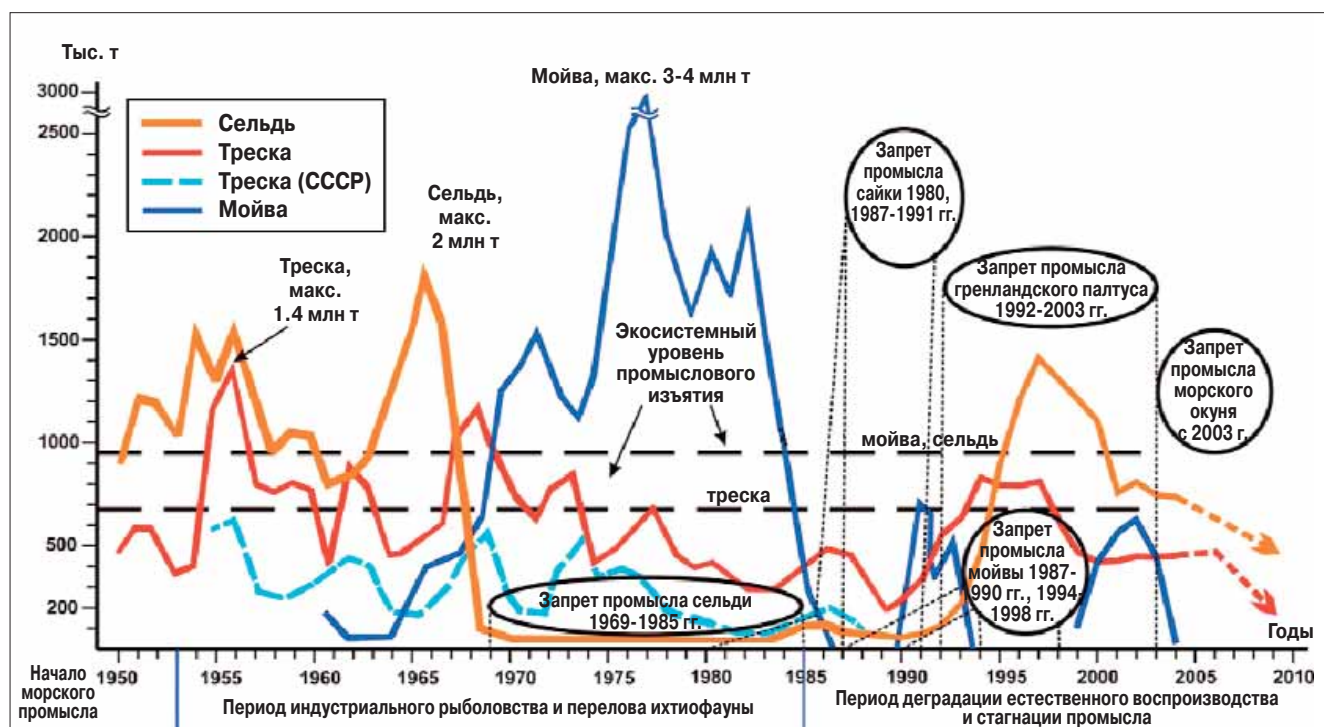
Сравнение качественного и количественного состава уловов в Азовском море по годам.

них достигали 400-600 тыс. т, то к настоящему времени они снизились в 10 и более раз.

Уловы в таком небольшом водоеме, как Азовское море, достигали 300 тыс. т. До середины прошлого столетия добывались только ценные рыбы, как показало последующее развитие событий — в чрезмерном количестве. Качественный перелом произошел в 1950-1960-е годы, когда на общий перелов наложились последствия масштабного промысла азовского бычка (корма белуги и севрюги) в объеме 70-92 тыс. т в год и другие негативные факторы. Результатом донного тралового лова бычков стало уменьшение кормовой базы осетровых вследствие разрушения дон-

ных биоценозов. В настоящее время основу биоресурсов Азовского моря составляют мелкие пелагические рыбы и вид-акклиматизант — дальневосточная кефаль пиленгас.

Наиболее ценными объектами промысла в бассейнах Каспийского и Азовского морей традиционно являются осетровые рыбы. Наибольшей интенсивности их промысел в бассейне Азовского моря достиг к середине XIX в., когда в год добывалось порядка 10-14 тыс. т. В XX в. максимальный улов был отмечен в 1936 г. — 5,4 тыс. т. В 1995 г. официальный улов осетровых составил всего 790 т, к 2000-2002 гг. он упал до 20-70 т, а сейчас не превышает 2-4 т. За минувшие



Этапы деградации запасов промысловых рыб в Баренцевом и Норвежском морях.

150 лет произошло катастрофическое падение уловов этих рыб — более чем в 1000 раз.

В Каспийском бассейне максимальные уловы отмечались в 1900-1915 гг. (24,4-30,0 тыс. т) и в 1975-1985 гг. (23,8-27,0 тыс. т). В 1950-1959 гг. среднегодовой улов осетровых на Каспии составлял 13,0 тыс. т и был почти в 3 раза ниже, чем в начале XX столетия. Таким образом, к моменту строительства каскада плотин на Волге естественные запасы осетровых рыб были уже в значительной мере утрачены. Вследствие перелова всех видов добыча в 1960-х — первой половине 1970-х годов не превышала 18,6 тыс. т. Подъем промысла в 1975-1985 гг. целиком обусловлен деятельностью рыболовных предприятий. Развал в 1990-е годы предприятий по искусственному воспроизводству ресурсов и браконьерство поставили осетровых рыб Каспия, как и Азова, на грань исчезновения. Для возрождения стад осетровых на Азове и Каспии выпуск заводской молоди должен быть на порядок выше, чем сейчас, то есть 200-300 млн экземпляров.

Из-за перелова рыбы уже неоднократно вставал вопрос о запрете промысла в Баренцевом море. Кризис промысловых биоресурсов возник еще в период плановой советской экономики. Во время расцвета океанического рыболовства здесь добывали до 1,5 млн т трески и 3-4 млн т мойвы. Перелов в 1950-1990-е годы привел к коллапсу запасов.

Для атлантической трески были впервые рассчитаны производственные показатели за 60-летний период. Доля изъятия не должна была превышать 24% от биомассы взрослых особей. Аналогичная ситуация сложилась и с промысловыми беспозвоночными Барен-

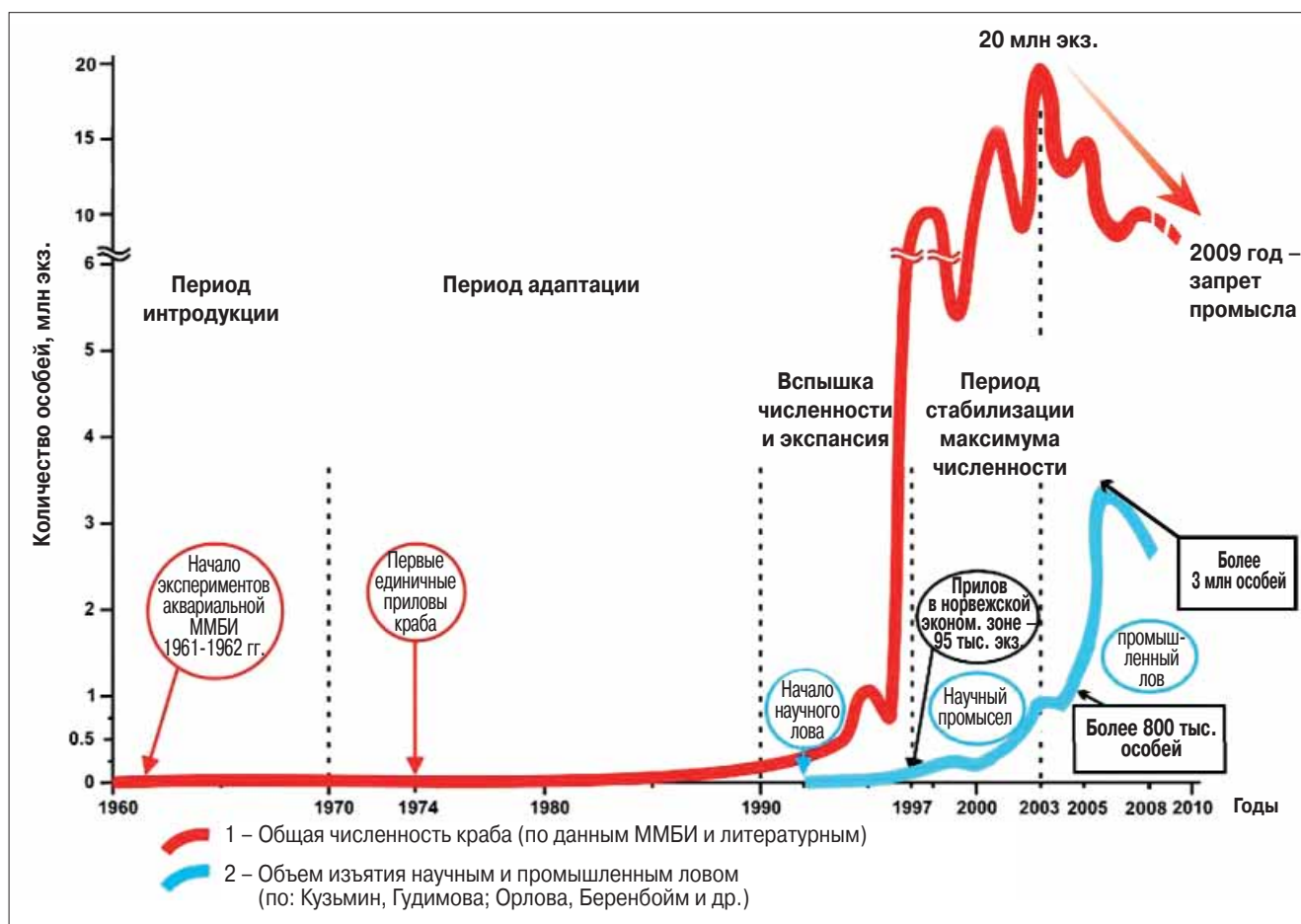
цева моря. В 1980-е годы были достигнуты максимальные уловы креветки — 140 тыс. т. Затем ее ресурсы деградировали. Запоздавшие запреты промысла ни к чему не привели.

Таким образом, общей тенденцией для районов интенсивного рыболовства является изменение структуры вылова: его основу стали составлять мелкие, ранее слабоиспользуемые виды. Это явилось следствием воздействия на верхние трофические уровни морских экосистем всех европейских морей и серьезного нарушения естественного воспроизводства рыб.

Заметная перестройка видового состава морской биоты в последние десятилетия произошла частично вследствие интродукции чужеродных видов и из-за других антропогенных причин.

Сейчас крупное отечественное рыболовство сосредоточено в Охотском, Беринговом и Баренцевом морях. Во всех рыбопромысловых зонах океана индустриальное рыболовство — главная разрушительная сила для морских экосистем, это не мифическая, а реальная угроза, которая может полностью загубить естественное воспроизводство, разрушить трофические цепи и генофонд промысловой биоты.

Деградация естественного воспроизводства промысловых рыб — ключевая проблема европейских морей России. В советский период перелов в южных морях компенсировался масштабным заводским воспроизводством молоди судака, леща, осетровых. В настоящее время оставшиеся рыболовцы на Каспии и Азове имеют архаичные технологии, молодь не жизнестойка, возврат заводской рыбы не превышает 2-4%.



Последствия интродукции камчатского краба в бассейне Баренцева моря.

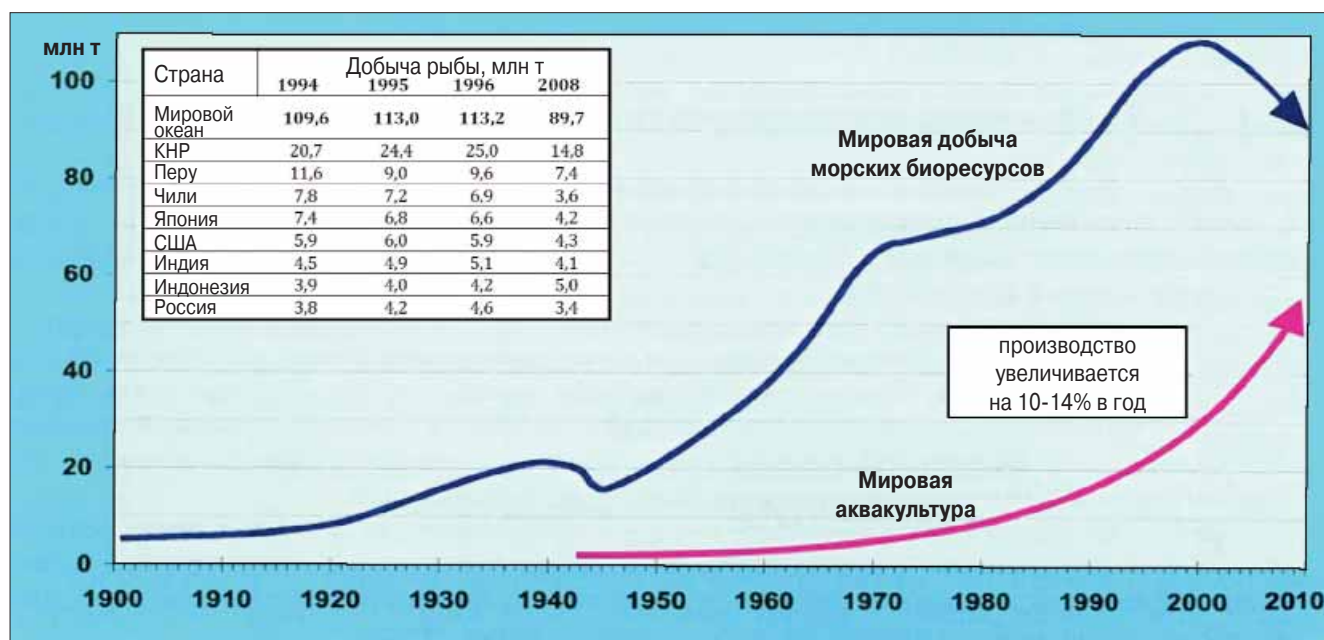
Существенный экосистемный дисбаланс внесла интродукция чужеродных видов, в частности, с Дальнего Востока, в советский период. 50 лет назад в Баренцево море был завезен камчатский краб. Пик его численности в 30 млн экземпляров совпал с потеплением климата в начале XXI в. Судьба краба закончилась переловом.

Дальневосточная горбуша сейчас обитает на пространстве от побережья Британии до Печорской Губы. Завоз чужеродного вида в северный бассейн без прогноза экосистемных последствий принес больше вреда, чем пользы. Биологическим загрязнением можно считать и дальневосточного пиленгаса в Азовском море — он занял места обитания осетровых и других ценных азовских рыб. Камчатский краб, горбуша, пиленгас — с позиций социально-экономических — фактор позитивный. А с точки зрения здоровья экосистемы, эти виды приносят явный вред.

В мире почти не осталось акваторий, где промысел не регулировался бы международными организациями. К тому же следует учитывать возросшие экологические требования к рыболовству в конвенционных районах открытого моря. Таким образом, даже в случае возврата отечественного рыболовного флота в от-

даленные районы Мирового океана рассчитывать на достижение прежних величин улова не приходится. По оптимистичной оценке Росрыболовства, в этом случае можно будет добывать до 2 млн т в год, что существенно меньше, чем в 1980-х годах. Поэтому особую значимость приобретает вопрос сохранения и возобновления водных биоресурсов в собственных водах. Возможный объем добычи в Дальневосточном бассейне оценивается специалистами в 5-6 млн т, тогда как в 2009 г. он составил по официальным данным 2,7 млн т, а с браконьерским и неучтенным выловом — не менее 3 млн т. Последний фактор оказывает существенное влияние на водные биоресурсы всех рыбохозяйственных бассейнов страны. Так, по данным только японской таможни из России экспортируется в 3-4 раза больше морепродуктов, чем фиксируется отечественными «стражами границы». Картина перелова рыб, несмотря на череду запретов, указывает на слабое присутствие в рыбохозяйственной практике не только России, но и Норвегии, Японии и других стран элементов экосистемного управления запасами промысловых рыб.

Кроме нелегального промысла, другим источником недостоверной статистики рыболовства являет-



Мировая продукция рыболовства и аквакультуры в XX в.

ся несовершенство существующего подхода к его регулированию. Основной стратегии рационального использования морских биоресурсов в большинстве развитых стран, включая Россию, является определение общего допустимого улова (ОДУ) для каждого объекта промысла, хотя на практике зачастую такой подход приводит не к сохранению запасов, а к их истощению. Регулирование посредством ОДУ привело, например, к перелову атлантической трески. В этой связи возникает вопрос о качестве обоснования величин ОДУ. Сильный урон исследованиям сырьевой базы рыбной промышленности нанесла поправка в закон о рыболовстве, обязывающая уничтожать водные биоресурсы, выловленные для проведения научных исследований. Такое решение было нацелено на противодействие коррупции и браконьерству. Теперь ежегодно без всякой пользы, наоборот, с большими затратами, подлежат ликвидации 15-20 тыс. т рыбы и морепродуктов. Это наносит вред науке и противоречит здравому смыслу. Не лучше ли отдать рыбу в учреждения социального обеспечения населения?

Следует сказать и о том, что получение квот на научные исследования и учебные цели сопряжено с многочисленными бюрократическими препонами, которые приходится преодолевать каждый год. Между тем за рыбодобывающими организациями разных форм собственности доли квот закреплены на 10 лет, а промысловые участки на Дальнем Востоке — на 20 лет. Разумнее научные объемы и лимиты для учебных целей выделять минимум на 5 лет вперед, чтобы можно было планировать ихтиологические исследования на перспективу.

Применение концепции повидового ОДУ некорректно и потому, что подавляющее большинство су-

ществующих промыслов не являются специализированными. Анализ данных о российском рыболовстве в Тихоокеанском бассейне показал, что действительно моновидами являются только промыслы сайры, кальмара, сельди, сардины, моллюсков, ежей. Все другие в лучшем случае можно считать смешанными, а в большинстве случаев — многовидовыми. Такая же ситуация и в других рыбопромысловых бассейнах нашей страны. В результате при некоторых видах рыболовства величина «прилова» превосходит изъятие основного объекта в несколько раз. В этой связи возникает вопрос о необходимости промыслового прогнозирования на многовидовой основе, учитывающей жизненные циклы, пути миграций и трофические связи массовых видов рыб.

Следует учесть и тот факт, что рыночные отношения в современном рыболовстве заставляют промысловиков идти по пути увеличения прибыли путем выбросов маломерной, поврежденной или просто не удовлетворяющей условиям контракта рыбы. Таким образом, из-за незаконного и неучитываемого вылова неизвестно, какое количество водных биоресурсов реально добывается.

Независимое определение ОДУ для каждой «единицы запаса» не может быть основой рационального природопользования, и во многих научных публикациях говорится о необходимости коренного пересмотра принципов управления промыслом. «Съем урожая» должен производиться с учетом связей всех эксплуатируемых элементов экосистем. В настоящее время на повестке дня стоит вопрос о переходе рыболовства на методологическую основу экосистемного подхода и оптимизации продукции с морского биоценоза, а не с «единицы запаса», как это делается сейчас. В зависимости от текущего состояния

экосистемы каждого из российских морей должна вырабатываться стратегия управления добычей биоресурсов.

В России пионерами в разработке экосистемного подхода стали ученые Мурманского морского биологического института (ММБИ) РАН. 25 лет назад, с опорой на багаж всесторонних знаний о биоте и абиотических условиях, впервые был разработан комплексный подход к проблеме Баренцева моря, то есть экосистемные исследования морей и океанов проводятся уже длительное время. Однако только в последние годы стало широко внедряться представление о больших морских экосистемах (БМЭ) и само это понятие. Большие морские экосистемы — это районы Мирового океана, характеризующиеся особой батиметрией, гидрографией, продуктивностью и трофическими взаимодействиями. По принятым в международной практике критериям, БМЭ охватывают прибрежные зоны от речных устьев и эстуариев до границ континентального шельфа и внешних пределов главных систем течений и включают высокопродуктивные участки океана площадью не менее 200 тыс. км². Международными организациями узаконена схема разделения прибрежных вод Мирового океана на 64 БМЭ, в пределах которых сосредоточено более 90% биоресурсов. В США, Китае и европейских странах биологическая и промысловая океанография во многом базируется на концепции Больших морских экосистем. В обязательном порядке должны учитываться промысел рыбы, биопродуктивность, загрязнение, социэкономика и управление.

Понятно, что перестройка рыбного промысла страны на «экосистемные» рельсы — процесс достаточно сложный. Возможно ли это при современной монополии Росрыболовства на все сферы регулирования рыбохозяйственной деятельности? Очевидно, нет, поскольку, несмотря на декларируемое равенство перед законом, Агентство по рыболовству сохраняет право вето на предложения, идущие вразрез с мнением чиновников, которым явно не хватает стратегического мировоззрения.

В морском рыболовстве прежде всего нужно законодательно закрепить норму об обязательном взвешивании уловов, поскольку на судах, занимающихся обработкой добытой рыбы, до сих пор определение ее веса производится путем пересчета от готовой продукции, что создает возможности для занижения уловов. Комплекс других мер в каждом промысловом районе может быть специфическим. Так, для Баренцева моря учеными Полярного института научного рыболовства и океанографии предложены три варианта ведения промысла. Для западной части Берингова моря разработаны как новая схема промыслового районирования, так и предложения по реорганизации рыболовства, которые можно считать шагами в сторону применения экосистемного подхода — так называемые заблокированные квоты для многовидовых промыслов, когда в разрешение пользователю вписываются все промысловые виды, наличествующие в данном орудии лова, либо регулирование возможного изъятия путем ограничения срока путины.

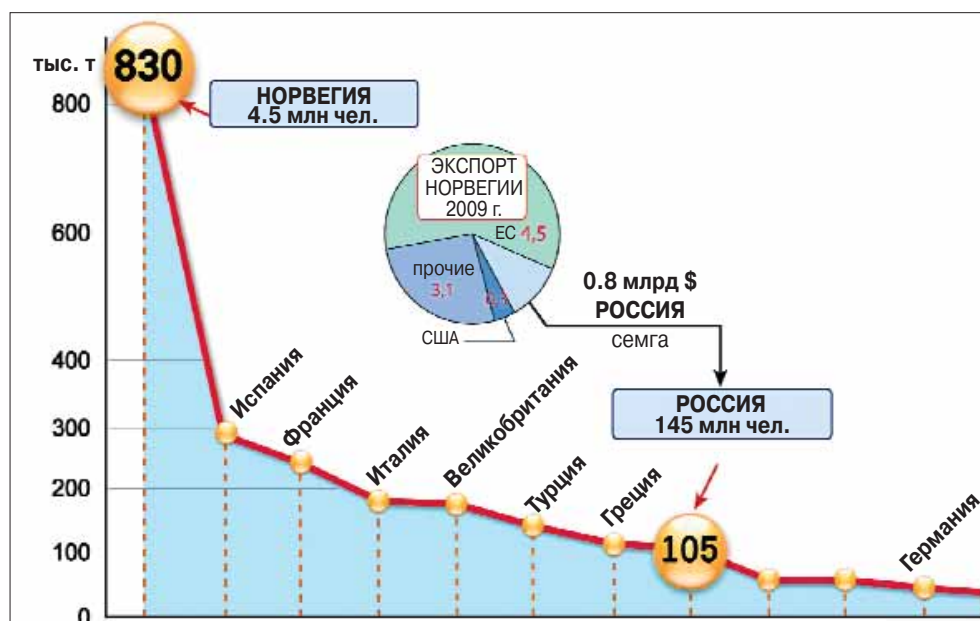
Наиболее реальным цивилизованным путем увеличения продукции водного происхождения представляется развитие аквакультуры во всех ее формах. В морских странах рыбоводство как самостоятельная индустрия развивается с 60-х годов прошлого столетия. Поэтому неотложной задачей нашей страны является поиск эффективных технологий рыборазведения, адаптированных к отечественному менталитету. Сегодня мировое рыболовство достигло своего потолка — порядка 100 млн т в год. В условиях ослабления естественного воспроизводства биоресурсов единственно разумным путем признано развитие аквакультуры. За четверть века объем товарной продукции в Китае, Японии, Норвегии, Перу, Франции, Турции и странах Юго-Восточной Азии достиг 60 млн т. Только Китай производит 32 млн т ежегодно.

Впечатляющих успехов достигла Норвегия, расположенная в приполярном регионе и традиционно входящая в число ведущих рыболовных держав мира. Только семги в этой стране ежегодно выращивается до 800 тыс. т. Наша соседка в Баренцевом море наглядно показала, чего можно добиться, рационально осваивая нефтегазовые запасы и разумно вкладывая деньги в конкретное товарное лососеводство. Суммарная стоимость экспортной продукции аквакультуры Норвегии в 2009 г. составила 7,7 млрд долл.

Доля России в мировой продукции аквакультуры очень мала. В Азово-Черноморском бассейне объем рыбоводства в первом десятилетии XXI в. достиг порядка 30 тыс. т в год. Во всех российских водоемах разводится примерно 100–115 тыс. т. В результате только из Норвегии импортируется рыбы на 800 млн долл. ежегодно. По прогнозам, к 2020 г. при современном инерционном сценарии производство товарной рыбы не превысит 200 тыс. т, то есть просто мизер по сравнению с показателями других стран. Объекты отечественного разведения представлены в основном карповыми рыбами, тогда как гораздо более ценные осетровые, сиговые и лососевые рыбы составляют лишь незначительную часть.

По мере роста масштабов аквакультуры все более заметным становится ее влияние на здоровье прибрежных морских экосистем. Ярко выражены два фактора — загрязнение органикой заливов и фиордов, а также «засорение» диких (естественных) популяций рыб беженцами с акваферм. Наглядный пример — лососеводство у берегов западной Норвегии. На морских фермах содержится до 350 млн особей. Во время аварий и штормов часть рыбы попадает в море и устремляется к местам нерестилищ дикой семги в реках Кольского полуострова. Первые поимки чужеродной рыбы с норвежских ферм были отмечены в 2001 г. Ежегодный поток инвазивных видов достигает многих тысяч экземпляров. Модифицированная рыба вытесняет дикого лосося на мурманских нерестилищах.

В нашей стране в академических и рыбохозяйственных НИИ имеются разработки, нацеленные на аквакультуру морских и пресноводных рыб. В Мурманском морском биологическом институте есть экспериментальные и опытно-промышленные раз-



Производство аквакультуры в странах Европы.

работки по выращиванию трески, камбалы и других баренцево-морских рыб. Выживаемость разных видов рыб при выращивании в условиях высоких широт составляет от 26 до 66%. Это хорошие показатели, поскольку для морских рыб с пелагической икрой характерна исключительно высокая смертность на ранних стадиях развития. По экспертным оценкам, в Белом море можно выращивать 8 тыс. т лососевых, 3 тыс. т мидий, 4 тыс. т водорослей.

В Баренцевом море общая площадь акваторий, на которых могут быть организованы морские хозяйства, составляет около 6 тыс. га. Западный Мурман перспективен для организации полносистемных хозяйств по товарному выращиванию атлантического лосося (семги), трески, палтуса, пикши, арктического голца и морской камбалы. Здесь возможно товарное выращивание холодноводной форели, трески, культивирование мидий и водорослей, камчатских крабов. Наиболее результативно и экономически выгодно товарное выращивание семги и трески в морских садках.

Результаты фундаментальных исследований биологии осетровых специалистами ЮНЦ РАН совместно с Астраханским государственным техническим университетом позволили усовершенствовать технологию выращивания рыбы в замкнутых системах водной среды на каждом этапе производственного процесса. Новые интенсивные технологии дают возможность получить товарную продукцию средней массой 1,5 кг за год, 3 кг — за 2–3 года, вырастить производителей осетровых рыб, созревающих за 3–4 года и дающих икру ежегодно. Наш способ выращивания эффективнее всех известных подходов.

Разработанная технология является конкурентоспособной и экономически целесообразной. Она позволяет в короткие сроки добиться результатов, превосходящих западные образцы в 2–4 раза по та-

ким показателям, как прирост полезной продукции и уменьшение смертности на всех этапах производственного цикла. В модульных регулируемых системах для промышленных и фермерских предприятий, кроме высококачественной товарной продукции (мясо осетровых, пищевая икра), возможно получение посадочного материала (личинки, молодь). Внедрение нашей технологии может создать одну из точек опоры для системы фермерских хозяйств и сопутствующих производств на Азове и Каспии. В настоящее время она применяется в 20 фермерских хозяйствах.

Необходимо принять действенные меры по развитию аквакультуры (закон «Об аквакультуре»), целевую программу развития осетроводства, создать российскую сеть криобанков для сохранения биоразнообразия и пополнения перечня культивируемых гидробионтов, условия для развития малого и среднего бизнеса в рыбном хозяйстве. Чтобы Россия снова стала производителем черной икры, следует реализовать государственный инвестиционный проект в размере 1 млрд долл. на 10–15 лет. В целом нам, как никогда, нужна внятная, долгосрочная научная и социально-экономическая политика в области товарного рыбоводства.

Сегодня государство должно выработать политику: либо мы будем есть то, что ели наши предки, а значит, надо восстановить местную фауну, либо будем вынуждены завозить импортную продукцию. Пора определяться.



Научно-популярный журнал Президиума РАН «Земля и Вселенная» издается с 1965 г. Он рассказывает о достижениях современной отечественной и мировой науки в области астрономии, космонавтики и геофизики, стараясь излагать сложнейшие научные проблемы строго, доступно и интересно. Кроме проблемного раздела, которым открывается каждый номер издания, вниманию читателей предлагаются такие рубрики, как «Симпозиумы, конференции, съезды», «Люди науки», «История науки», «Астрономическое и аэрокосмическое образование», «Планетарии», «Экспедиции», «Гипотезы, дискуссии, предложения».

Особый раздел журнала посвящен любительской астрономии: в нем публикуются сведения о предстоящих астрономических явлениях и статьи любителей астрономии и телескопостроения.

На страницах «Земли и Вселенной» постоянно выступают академики, члены-корреспонденты РАН, доктора и кандидаты наук.

В редколлегиях журнала входят многие известные российские ученые — специалисты в области астрономии и наук о Земле.

Первым главным редактором журнала был видный астрофизик профессор Дмитрий Мартынов, являвшийся директором Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга МГУ и президентом Всесоюзного астрономо-геодезического общества при АН СССР.

С 1989 г. журнал возглавляет известный российский астроном член-корреспондент РАН Виктор Абалакин.

Ниже публикуется статья члена редколлегии журналов «Земля и Вселенная» и «Наука в России» академика Владимира Котлякова, которая была напечатана в «Земле и Вселенной» в шестом номере за 2011 г.

ГЕОГРАФИЯ – ОДНА ИЗ ОСНОВ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Академик Владимир КОТЛЯКОВ,
директор Института географии РАН

География – одна из древнейших в семье семи фундаментальных естественных наук. Она возникла еще в античные времена, прошла важные этапы своего развития и сейчас в значительной мере основывается на космической информации и геоинформационных технологиях. В статье рассказывается об одном из последних достижений географии – открытии подледного озера Восток в Центральной Антарктиде – и о циклическом характере развития природы Земли. Перечисляются основные задачи и направления современных географических исследований.

НУЖНА ЛИ ГЕОГРАФИЯ В XXI ВЕКЕ?

Уже долгое время, буквально со студенческих лет, приходившихся на первую половину 1950-х гг., меня преследовало вызывавшее мое удивление неверие некоторых специалистов-географов в свою профессию. Тогда раздавались, да и сейчас иногда можно услышать сетования вроде «А нужна ли вообще география людям, когда все природные объекты, существующие на Земле, известны, а саму поверхность планеты «наблюдают» сотни космических аппаратов, регулярно облетающих земной шар?».

Подобные вопросы всегда приводили меня в недоумение. Невозможно себе представить, чтобы какая-либо стройка на Земле могла начаться без детальной оценки специалистами-географами или какая-либо природная либо природно-техногенная катастрофа вроде катастрофических засух или наводнений либо лесных пожаров может быть понятна без примененных разносторонних знаний географа.

Путешествуя однажды по Соединенным Штатам Америки, я посетил фирму, занимавшуюся эколого-географической экспертизой крупных объектов,

*На тропе к вершине Эльбруса,
рядом с Ледовой Базой
на высоте 3700 м,
где В.М. Котляков зимовал
в 1962 и 1963 гг.*



строющихся в самых разных природных условиях. Руководитель фирмы рассказал мне, что такая экспертиза продолжается довольно долго и в ней участвуют специалисты самых разных направлений: геологи, гидрогеологи, геофизики, биологи, археологи и пр. «Но завершают эту работу всегда географы, — пояснил мне хозяин фирмы, — потому что обладатели комплексных географических знаний могут понять суть всей проблемы, объединить мнения отдельных экспертов и написать общее заключение, рекомендуемое или, наоборот, запрещающее то или иное строительство». Причина такого положения географов в экспертизе заключается в самой сути географии — широкой и глубокой комплексной дисциплины, охватывающей оба крыла наших знаний — и естественные, и общественные науки.

ГЕОГРАФИЯ — ОДНА ИЗ СЕМИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

География возникла в незапамятные времена, еще в Древнем Египте и Месопотамии, потому что человек хотел узнать местность вокруг своего дома, окрестности родных мест. Плавая по соседним рекам и вдоль морских берегов, он должен был ориентироваться, запоминать увиденное, классифицировать полезные и вредные места в своей памяти. Так возникли зачатки географии. А в Древней Греции, в период расцвета науки и искусств, вслед за астрономией география встала на научно-исследовательскую базу, и древнегреческие философы, такие как Анаксимандр и Анаксимен в VI в. до н.э. уже развивали идеи географической целостности античного мира, а Анаксимандр к своему трактату «О природе» приложил географическую карту, которая дала начало античной картографии.

Таким образом, география стала второй по счету после астрономии фундаментальной наукой естествознания. Всего таких фундаментальных дисциплин насчитывается семь: в порядке возникновения это

астрономия, география, математика, физика, химия, биология, геология. Каждая из них имеет свой предмет исследования. География изучает внешние оболочки Земли: атмосферу, гидросферу, криосферу и, как сейчас говорят, антропосферу, то есть территориальные особенности хозяйства и деятельности человека.

По мере накопления знаний география, как и любая другая наука, усложнялась и разрасталась вширь. Два главных крыла географии — физическое и социально-экономическое — обрастали новыми направлениями, привлекали все новые и новые методы исследований, что позволило углубить знания о законах пространственного развития природы и хозяйственной деятельности людей.

За прошедшие века «дерево географии» сильно разрослось и приносило полезные человеку «плоды». География прошла через эпоху Великих географических открытий (XVI-XVIII вв.), эпоху познания малодоступных уголков на разных континентах (XIX — первая половина XX в.), эпоху наблюдений из космоса (вторая половина XX в.) и дистанционных космических исследований Земли (конец XX — начало XXI в.).

В 2000-2007 гг. мы с профессором МГУ А.И. Комаровой работали над пятиязычным академическим словарем, и всю область географической науки удалось разделить на 14 крупных дисциплин, каждая из которых в свою очередь может быть представлена еще более подробно.

Отдельные отрасли географии, безусловно, взаимодействуют между собой, потому что природные явления, происходящие на поверхности Земли и в океане, связаны друг с другом, формируя и облик Земли, и основные процессы, происходящие под влиянием внешнего источника энергии — Солнца и земных источников, изучаемых географией.

«Чудо» географии заключается в том, что это единственная из фундаментальных наук, имеющая и естественнонаучную, и социально-экономическую со-



*Слияние двух памирских ледников: справа (орографически) пассивный ледник, слева – пульсирующий ледник в фазе активной подвижки.
Снимок с вертолета Памирской аэроглюциологической экспедиции, работавшей на Памире под руководством В.М. Котлякова в 1968-1974 гг.*

ставляющие. В географии неразрывно связано изучение природных и социальных процессов во всем их многообразии и пространственных различиях. Хотя социальное имеет свою внутреннюю надприродную логику развития, оно в то же время подчинено общеприродным закономерностям. Природная предопределенность в той или иной мере свойственна всем сферам общественной жизни на любой стадии исторического развития, так как человек — звено эволюции, часть природы и может существовать лишь благодаря постоянному обмену с ней. Поэтому законы социальных наук имеют в своей основе природную составляющую, это роднит их с законами естественных наук и позволяет сохранять единство географии.

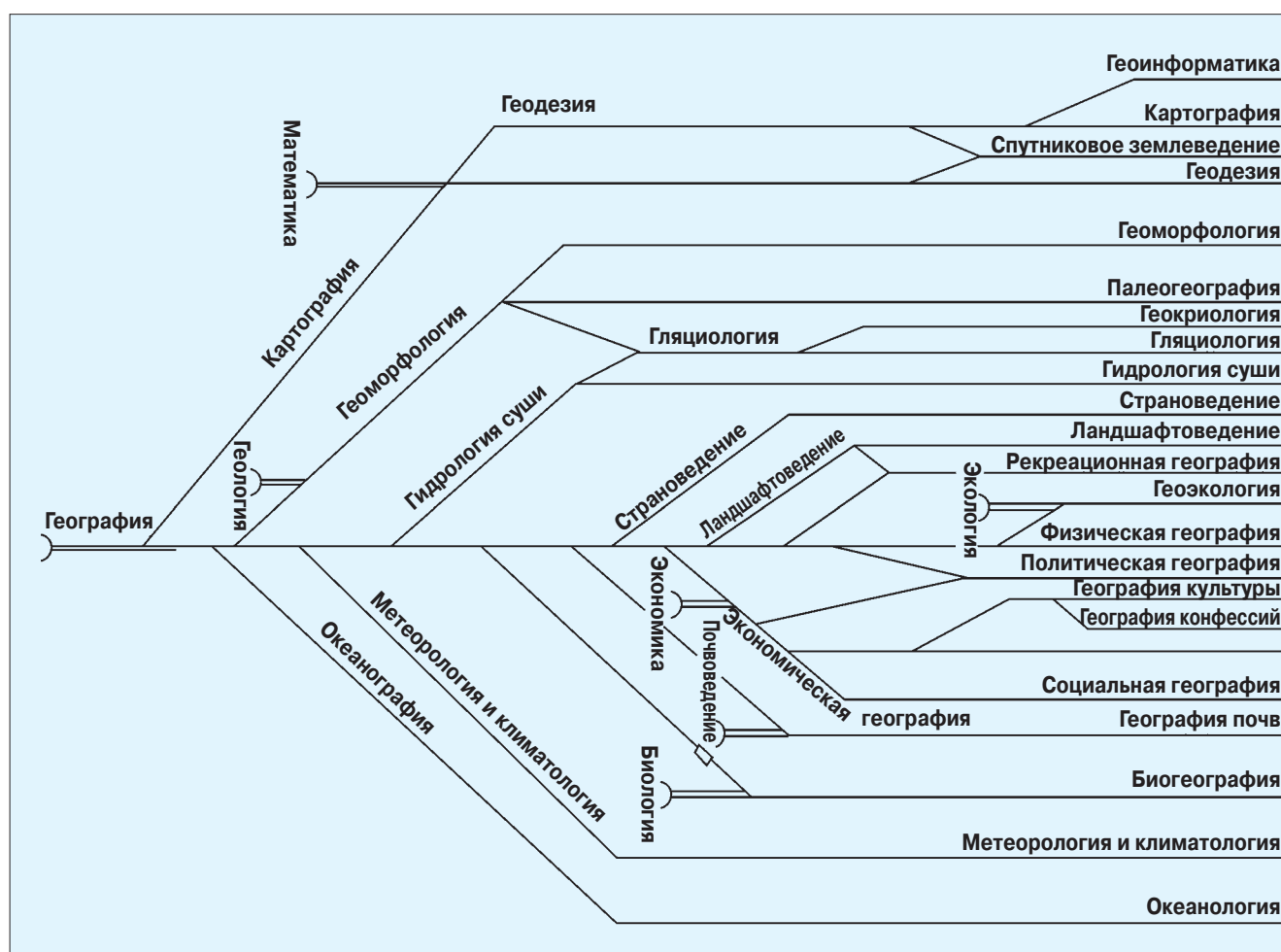
В уже упоминавшемся Словаре мы дали такое краткое определение географии. Это комплекс наук, изучающих природные и антропогенные явления на поверхности Земли и в окружающих ее сферах, их пространственное распределение и изменения во времени. Из приведенного определения следует непрехо-

дящее значение географии и бесконечность ее развития, как и любой другой фундаментальной науки.

Проблема бесконечности развития науки — вопрос философский. Как и проблема целесообразности устройства земного шара и его составляющих. Ведь это удивительно, что вода, замерзая, превращается в лед, который на 10% легче и образует на поверхности воды плавучий покров, предохраняющий реки и водоемы от промерзания до дна и тем самым сохраняющий в них жизнь, несмотря на регулярно возникающие морозные условия.

ПОСЛЕДНЕЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОТКРЫТИЕ XX ВЕКА

В XX в. быстрое развитие космических методов привело к новым географическим открытиям. Уже на первых фотоснимках, полученных космическими аппаратами, мы увидели огромные кольцевые структуры земного рельефа, давшие повод для многих размышлений геоморфологов. А затем были открыты подледные озера в Антарктиде. Я принимал непо-



Дерево географии.

средственное участие в этом географическом открытии, а потому расскажу о нем чуть подробнее.

В начале 1960-х гг. сотрудник моего отдела И.А. Зотиков теоретически доказал, что существует критическая толщина ледника, при превышении которой на ледниковом ложе начинается таяние льда. В результате его расчетов выяснилось, что почти во всей Центральной Антарктиде, несмотря на очень низкие средние годовые температуры, у ложа идет непрерывное таяние.

В 1959 и 1964 гг. при сейсморазведке в Центральной Антарктиде А.П. Капица получил сейсмограммы в районе станции Восток с двумя отражениями на глубинах 3730 и 4130 м. Тогда верхнее отражение приняли за отражение от дна льда, а нижнее отражение приписали границе ледниковых отложений и коренных пород. Однако последующий анализ показал, что вполне вероятно, а теперь уже определенно, мы имеем здесь дело не с ледниковыми отложениями, а с водной толщей, превышающей 400 м.

В 1970-х гг. Британский полярный институт им. Р. Скотта выполнил большую программу полетов с радиозондированием в Центральной Антарктиде, в

результате чего были оконтурены крупные скопления подледниковых вод, которые тогда были названы подледными озерами. В 1990-х и 2000-х гг. в этом районе выполнялись детальные наземные отечественные и американские аэрогеофизические исследования, которые определили размеры этого грандиозного подледного озера, получившего название «Восток»: длина — 230 км, ширина — 50 км, площадь поверхности — около 10 тыс. км²; мощность льда над озером — 3700–4200 м, средняя глубина озера — около 400 м, а объем воды в нем — 6100 км³.

Лед спускается с запада и на высоте примерно 3550 м переходит на плав, движется по поверхности воды и затем упирается в восточный берег озера, снова приобретая черты ледникового щита. Рельеф поверхности у края озера достаточно сложен, что свидетельствует о непростых процессах при переходе льда на плав и, наоборот, при достижении им твердого основания. Таким образом, огромная толща льда, возвышающаяся над озером, может рассматриваться как своеобразный шельфовый ледник. Все это — совершенно новое природное явление, представляющее собой географическое открытие мирового значения.



Обложка книги «География: понятия и термины».

ГЛУБОКАЯ ЛЕДНИКОВАЯ СКВАЖИНА НА СТАНЦИИ ВОСТОК

Станция Восток была создана и открыта в самом начале 1958 г., в период Международного геофизического года, когда и мне выпало счастье провести 13 месяцев на Антарктическом материке. Здесь, в Центральной Антарктиде, на высоте 3490 м над уровнем моря средняя годовая температура воздуха равна $-55,5^{\circ}\text{C}$, а за год накапливается всего 23 мм осадков — это настоящая полярная пустыня. Толщина льда близка к 3700 м; таким образом, вся толща содержит лед, отложенный на протяжении нескольких сотен тысяч лет. Изотопный профиль из скважины со станции Восток характеризует температурные условия в полярных областях за последние 420 тыс. лет и позволяет сделать важные заключения.

Во-первых, концентрация парниковых газов и глобальная температура в прошлом изменялись параллельно, но содержание газов резко возросло за последние 100 лет, тогда как изменения температуры не выходят за рамки ее естественных флуктуаций. Во-вторых, уровень климатического оптимума голоцена на $1,5\text{--}2^{\circ}\text{C}$ ниже максимальной температуры предыдущего межледникового, когда, естественно, никакого антропогенного влияния на Земле не было.

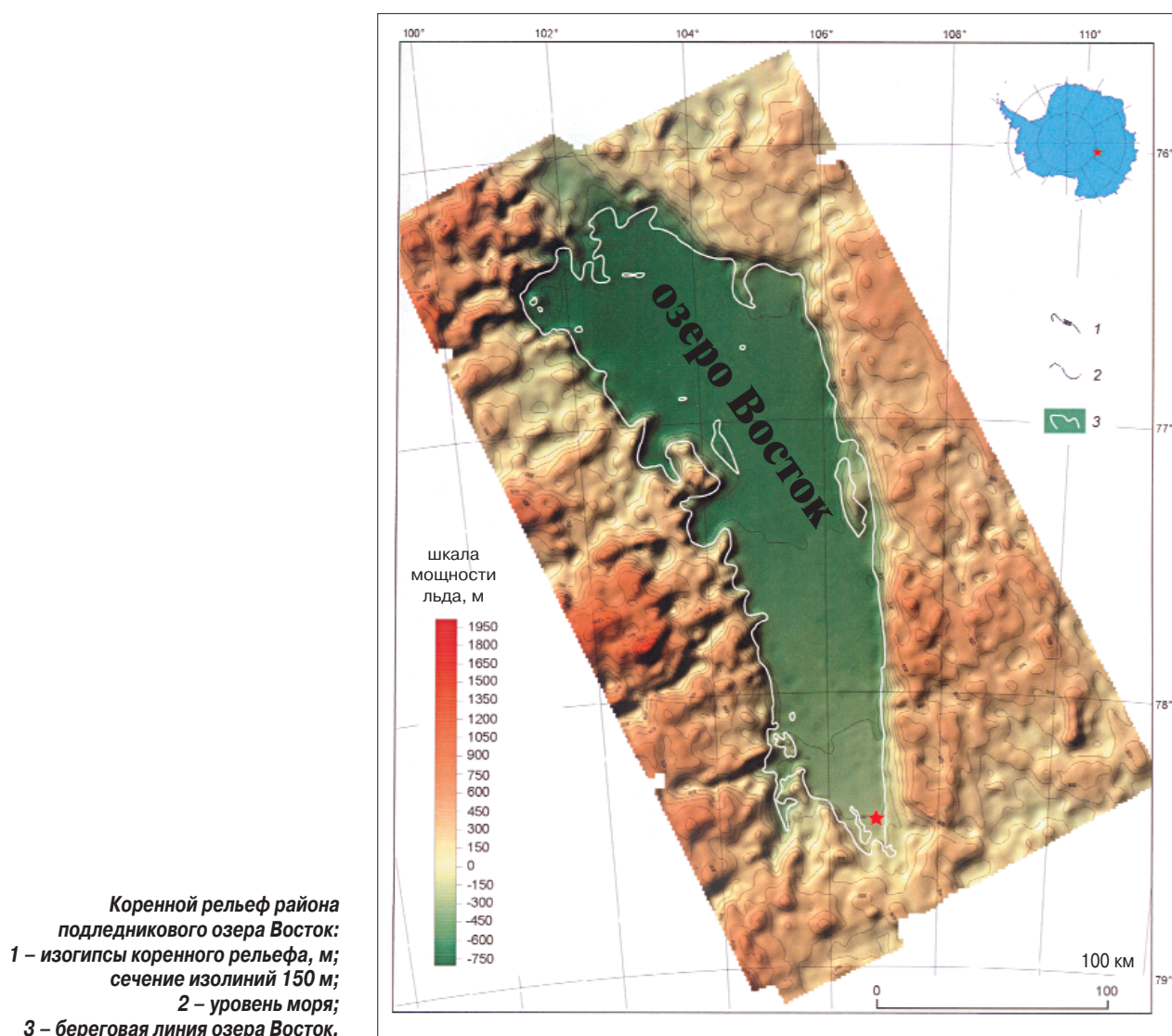
И в-третьих, голоцен, продолжающийся уже около 11 тыс. лет, намного длиннее предыдущих четырех межледниковых периодов и в ближайшем геологическом будущем, очевидно, сменится новой ледниковой эпохой.

Для ледниковых эпох характерно не только общее похолодание, но и резкое усиление контрастов между разными широтами, между сушей и океаном и, следовательно, рост энергии всех океанических и атмосферных процессов. В периоды глобальных похолоданий усиливались океанические и атмосферные течения, а также активизировались циклонические процессы на границе ледниковых покровов. Доказательства более сильной атмосферной циркуляции в ледниковые эпохи принесли результаты измерений концентрации континентальных и морских аэрозолей в ледяном керне из скважин.

К микрочастицам континентального происхождения относятся: пыль из пустынь, продукты выветривания горных пород, сульфат аммония, образованный из SO_2 и NH_3 над континентами. Морские микрочастицы возникают при разрыве пузырьков в «белых барашках» при сильных ветрах на поверхности моря. Из-за больших размеров, растворимости и быстрого формирования облаков они стремительно удаляются из атмосферы. Поэтому основная масса микрочастиц в средней и верхней частях тропосферы состоит из частиц континентального происхождения, и именно их мы находим в толще высоко расположенных полярных и горных ледников. Изучение глубинного ледникового керна — пока единственный путь реконструировать прошлые особенности атмосферы, в частности главные биогенные циклы углерода, серы, азота.

Типичный индикатор — аэрозоли алюминия и натрия. Концентрации и тех и других возрастают в ледниковые эпохи. На станции Восток в плейстоценовом льду концентрация континентальной пыли в 70 раз, а морских аэрозолей — в 5 раз больше, чем в голоценовом льду. Главная причина этого — усиление ветров из-за роста межширотных контрастов. Важную роль играло и опустынивание предледниковых областей, и их расширение из-за осушения шельфов при эвстатическом снижении уровня моря, так как часть воды шла на формирование ледниковых покровов.

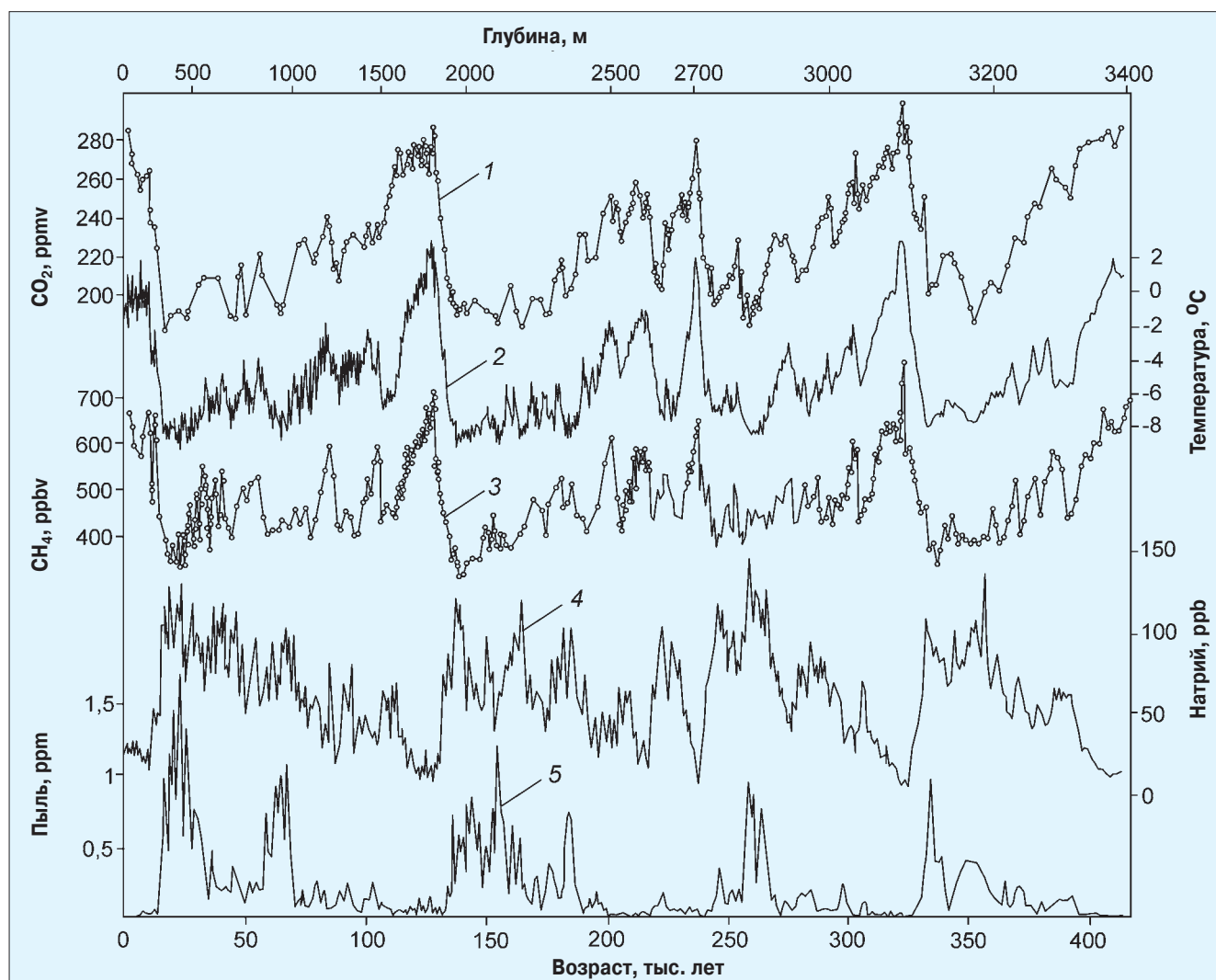
Таким образом, все химические параметры, исследованные в ледяном керне, приводят нас к выводу о резком росте «запыленности атмосферы» и усилении меридиональной циркуляции в ледниковые эпохи, что связано с увеличением разницы температур между экваториальной и полярной областями Земли. Более того, запыленность атмосферы сама служит мощным климатообразующим фактором: увеличение количества пыли и аэрозолей при похолоданиях, в свою очередь, способствует дальнейшему похолоданию.



Это подтвердили специальные исследования климатологов, занимавшихся прогнозом последствий ядерной войны («ядерная зима»). Ведь поступление масс пыли и пепла в атмосферу будет главным последствием ядерных взрывов, и вес поднятой ими пыли может достигать миллиардов тонн. По данным моделирования, пыль и пепел быстро обволокут всю Землю, в результате чего прозрачность атмосферы для солнечной радиации уменьшится, по разным оценкам, в 75–200 раз. Это должно привести к нагреву верхних частей тропосферы и резкому (на 15–30 °С) выхолаживанию ее приземного слоя. А локальные эффекты могут быть еще большими, вызывая похолодания воздуха крупных регионов умеренного пояса Северного полушария на 40–50 °С. Из этого следует, что рост количества пыли и аэрозолей в атмосфере при похолоданиях, в свою очередь, способствовал усилению этих похолоданий — между обоими процессами устанавливалась положительная обратная связь.

Модель подобного развития событий дает сама природа. При извержениях некоторых вулканов в атмосферу из них выбрасываются многие кубокилометры пепла и других примесей. Вулкан Кракатау на о. Ява, например, выбросил в 1883 г. 18 км распыленных продуктов. Еще больше материала попало в воздух в 1815 г. в результате извержения вулкана Тамбора, расположенного на о. Субава в Индонезии. Оно было самым сильным на Земле за последние 500 лет. Выбросы в атмосферу во много раз превысили последствия упомянутого извержения вулкана Кракатау. При этом газ и пепел распространились в верхние слои атмосферы и создали завесу, ставшую экраном для солнечного излучения, что и привело к глубокому охлаждению: в умеренных широтах Северного полушария снег лежал до середины июня, а в Западной Европе уже в августе начались заморозки. В Англии в том году вообще не было лета, и страна осталась без урожая...

Ответом на эти события было написанное в 1816 г. стихотворение Дж. Байрона, по мотивам которого в



Изменения температуры, содержания парниковых газов и аэрозолей в ледяном керне из глубокой скважины на станции Восток, охватывающем 420 тыс. лет.
 Сверху вниз: 1 – содержание CO_2 ; 2 – отклонение температуры от современной; 3 – содержание CH_4 ; 4 – содержание натрия во льду; 5 – содержание пыли во льду.

1845 г. И.С. Тургенев опубликовал эссе под названием «Тьма»:

...И мир был пуст;
 Тот многолюдный мир, могучий мир
 Был мертвой массой, без травы, деревьев,
 ...Завязли ветры в воздухе немом...
 Исчезли тучи... Тьме не нужно было
 Их помощи... она была повсюду...

Судя по модельным экспериментам, такого рода зима длится около двух лет. Но модели не обладают всеми свойственными реальной атмосфере механизмами устойчивости. После «ядерной зимы» климат может и не вернуться к прежнему.

Гляциологические и океанологические данные демонстрируют циклический характер климатических колебаний, представляющих собой отражение астро-

номических факторов, проанализированных в свое время Миланковичем. Таким образом, характерная черта природных условий — их цикличность. Уже более миллиона лет на Земле господствует ледниковый период, отличающийся чередованием ледниковых и межледниковых условий.

Однако каковы бы ни были антропогенные изменения климата, они накладываются на его естественные вариации, масштаб которых все еще сильно превосходит влияния, обусловленные эмиссией парниковых газов. Ряд данных свидетельствует о том, что климат в прошлом менялся гораздо сильнее, чем в период инструментальных наблюдений, то есть за последние 150 лет. В климатах прошлого отмечены значительные колебания уровня озер, режима рек, экстремальные засухи и наводнения. Их повторение в будущем может иметь серьезные социально-эконо-

Изменение акватории Аральского моря в 1975-1996 гг. по советским/российским космическим снимкам, полученным в июне 1975 г., апреле 1989 г. и октябре 1996 г.

мические последствия, к ним могут и не адаптироваться социальные и экономические системы.

СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОГРАФИИ

В наше время существует широкий фронт задач, стоящих перед географией. В Российской академии наук создана система институтов географического профиля. Это, прежде всего, институты географии в Москве, Иркутске и Владивостоке, институты водных и экологических проблем в Москве, Санкт-Петербурге, Петрозаводске, Барнауле и Хабаровске, Институт степи в Оренбурге. Они работают по актуальным проблемам географической науки, в числе которых можно назвать следующие комплексы проблем.

Палеогеографические исследования сосредоточены на реконструкции и прогнозе климатических и геоэкологических изменений природной среды Северного полушария и Арктики на основе изучения событий плиоцена, плейстоцена и голоцена, а также определении вклада естественной и антропогенной составляющих в климатические изменения. Дается оценка реакции ландшафтных систем и их компонентов на климатические изменения на основе палеореконокструкций и моделирования; изучается эволюция ландшафтов в условиях антропогенных преобразований природной среды. По данным за плейстоцен и голоцен изучаются возможности адаптации человека к экстремальным состояниям геосистем в эпохи глобальных климатических экстремумов.

Изучаются физические механизмы изменений климата в глобальном и региональном масштабах, в том числе процессов долгопериодных изменений (глубоководная циркуляция океана, колебания ледниковых щитов и т.д.). Исследуются механизмы, формирующие пространственные поля климатических характеристик Северной Евразии в различные эпохи. Пространственно-временные характеристики ожидаемых глобальных и региональных изменений климата на основе палеоаналогов предыдущих эпох (плейстоцена и голоцена) сопоставляются с результатами численного моделирования.

Предполагается исследовать механизмы, формирующие пространственные поля климатических характеристик Северной Евразии в различные эпохи. С этой целью будут выполнены анализ пространственных полей климатических показателей в разные временные срезы от миклулинского межледникового до климатического оптимума голоцена и исторического периода; формирования полей температуры поверхности океана и распространения морских льдов; численное моделирование климатических характеристик Северной Евразии для различных временных срезов; сопоставление пространственных полей по данным моделирования и восстановления на основе натурных данных.



Разрабатываются основы комплексного мониторинга состояния окружающей среды, включая атмосферу, гидросферу и криосферу, моделируются климатические и экологические эффекты природных катастроф. Исследуются изменения составляющих теплового, водного и углеродного баланса в различных экосистемах суши в связи с изменениями климата и антропогенными воздействиями. Даются оценка, прогноз и предупреждение отрицательных последствий опустынивания и засух, включая проблемы солевого накопления в ландшафтах аридных областей.

Разрабатываются новые методологии, технологии, технические средства и аналитические методы исследований поверхности Земли, ее атмосферы, гидросферы и криосферы. Создаются базы данных картографического обеспечения на основе ГИС-технологий для оценки состояния окружающей среды и прогноза развития опасных природных процессов. Разрабатываются методы эколого-географической экспертизы крупных хозяйственных проектов на основе ГИС-технологий. Ведется моделирование при-

родных процессов на основе геоинформационных технологий и на этой основе разрабатываются технологии и методы геоэкологического мониторинга.

Изучаются процессы и закономерности взаимодействия поверхностных, подземных и почвенных вод, моделируется гидрологический цикл суши и его реакция на изменения окружающей среды; развивается теория и методология управления водными ресурсами, водоохранной деятельностью для повышения надежности водообеспечения российских регионов; разрабатываются методы прогнозирования и обосновывается структура мониторинга катастрофических наводнений и паводков на реках России, оцениваются риски их возникновения, социально-экономические и экологические последствия; исследуются механизмы, ведется моделирование и прогнозирование комплексного воздействия климатических и антропогенных факторов на процессы формирования качества вод, структуру водных экосистем и здоровье населения; разрабатываются теоретические основы комплексного мониторинга водных объектов с использованием данных аэрокосмических измерений.

Исследуется динамика криолитозоны в береговой и прибрежно-шельфовой зоне арктических морей с целью оценки ее состояния и прогноза возникновения опасных криогенных процессов в мерзлотных толщах. Исследуется состояние южной периферии криолитозоны России, включая горные области, в условиях глобального изменения климата и возрастания техногенной нагрузки. Реконструируется гео-криологическая история в криогенных и палеокриогенных областях; изучаются физико-химические основы взаимодействия реликтовых горизонтов газовых гидратов с многолетнемерзлыми породами на суше и в мелководной части шельфа, что позволяет дать прогноз криогенеза.

Криосфера изучается как важная составляющая эволюции Земли и ее влияния на формирование климата. Исследуется реакция снежного покрова и ледников Евразии на изменения климата за последнее столетие, прогнозируется состояние криосферы в XXI в., включая активизацию стихийных процессов. Исследуется распространение и режим снежного покрова, снежных лавин, селевых и водоснежных потоков и факторов их образования, создаются модели формирования сейсмогенных лавин. Изучается роль криогенеза в поддержании устойчивого состояния природных объектов и инженерных сооружений.

Изучается влияние различных типов природопользования на состояние природного ресурсно-экологического потенциала территории; выявляются и обосновываются индикаторы устойчивости различных ландшафтов Евразии к интенсивным техногенным воздействиям и климатическим изменениям. Изучаются изменения состояния нарушенных земель в разных природных зонах и обосновываются пути ре-

культивации, включая восстановление естественных ландшафтов разных природных зон. Разрабатывается методика оценки экологической опасности на региональном и локальном уровнях для устойчивого развития России. Создаются эколого-географические основы устойчивого развития России и мира, географическое и геоинформационное обеспечение перехода к устойчивому развитию Российской Федерации в условиях меняющегося климата для использования в территориальном планировании и в планах стратегического развития.

Разрабатывается новое биогеографическое районирование Российской Федерации для повышения эффективности и репрезентативности территориальной охраны природы, сохранения природного наследия, ландшафтов и биоты. Выявляются тренды трансформации биоты зональных ландшафтов Российской Федерации и дается ее прогноз в связи с инвазиями чужеродных видов растений и животных при разных климатических и социально-экономических сценариях развития России и мира. Исследуется эволюция почвенных систем в связи с глобальными климатическими и антропогенными воздействиями. Дается оценка изменений составляющих теплового, водного и углеродного баланса в различных экосистемах суши в связи с изменениями климата и антропогенным влиянием. Оцениваются эколого-географические и экологические последствия вступления России во Всемирную торговую организацию.

Рассматриваются влияние урбанизации на состояние окружающей среды и критерии оценки экологического состояния средних и малых городов. Разрабатывается долгосрочная стратегия устойчивого и сбалансированного развития природно-ресурсного потенциала различных природно-климатических зон России и концепция развития единой сети особо охраняемых природных объектов и формирования ландшафтно-экологического каркаса регионов России. Предлагается стратегия территориального развития и научных основ региональной политики Российской Федерации в условиях депопуляции и сокращения пространства, изучается зарубежный опыт, в том числе в странах с переходной экономикой.

Перечисленные исследования ведутся большими коллективами ученых. Таким образом, фронт географической науки широк и не должен сокращаться.

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ЛЕСА



В августе 2011 г. в Красноярске прошла юбилейная конференция Международной ассоциации исследователей бореальных (северных, подверженных сильным ветрам) лесов — IBFRA, созданной в 1991 г. в Закарпатье (Украина). И с той поры аналогичные встречи проходили регулярно, но никогда в Сибири. Что понять можно, ибо значение соответствующих биосферных процессов огромно для всего мира, а значит, и для многих ученых. О результатах последнего форума корреспонденту газеты «Наука в Сибири» рассказал доктор биологических наук, директор Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН Александр Онучин.

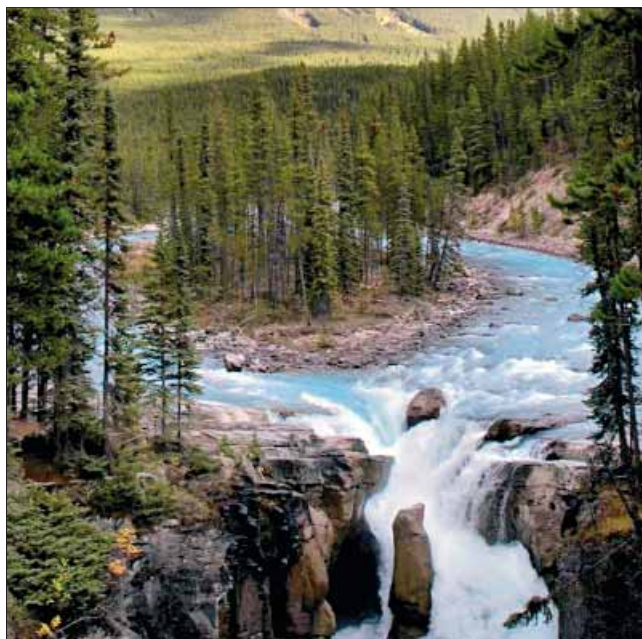
Он подчеркнул: в основном его и многих коллег последнее время волнует один из ключевых аспектов северных лесов — их гидрогеологические функции.

Оценка бореальных (а также умеренных) лесов актуальна и для Северной Америки, Канады и для северных районов Европы. Так, произрастающие в

умеренном климате уменьшают сток рек. Кстати, именно там деревья трудятся как испарители влаги, ибо имеют значительную биомассу и высокую продуктивность.

Северные же леса в этом смысле менее активны — они более разрежены, формируют мощный снежный покров в отличие от находящихся на юге — последние главную часть осадков перехватывают кронами, особенно выпадающих в виде снега при повышенных зимних температурах. В северных районах все наоборот: под покров леса там проникает большое количество твердых атмосферных осадков. В тундре же высота снега небольшая и основная его масса испаряется.

Онучин отметил: он и его сотрудники провели ряд лабораторных экспериментов и полевых исследований, убедительно показав, что во время метелей в условиях жестких зим снег испаряется значительно интенсивнее нежели в мягком климате. Это помогло



**Бореальные леса.
Национальный парк Джаспер (Канада).**

**Бореальные леса.
Республика Коми.**

местным исследователям объяснить существующие в мире противоречия в оценке гидрологической роли лесов: американцы уверяли, что они являются сильными испарителями и уменьшают сток, а наши специалисты, работавшие в иных географических и климатических условиях, получали противоположные результаты, т.е., по их убеждению, леса являются источниками питания водотоков. Таким образом, констатирует ученый, «гидрологическая роль лесов в большой степени проявляется именно в бореальных, где снег длительное время находится в устойчивом состоянии, и его трансформация проявляется именно зимой. Летом, когда выпадают жидкие осадки, они сразу включаются в активный влагооборот, и здесь баланс влаги зависит в первую очередь от продуктивности биогеоцентров, а не от их типа».

Вместе с тем Онучин остановился на одной из важнейших экологических проблем, требующих повышенного внимания человечества в целом и ученых в частности. Речь идет о наметившемся глобальном потеплении нашей планеты. И леса, естественно, являются одним из сдерживающих факторов этого процесса. Развивая идею, исследователь показал, что есть разные точки зрения на эту проблему в целом.

Парниковая теория говорит о потеплении и повышении содержания углекислого газа, связанного прежде всего с нарастающим использованием людьми ископаемого топлива. Существует и другая точка зрения о неопределенности того, что является причиной, а что следствием данного процесса. Вероятно, повышение температуры воздуха — результат увеличения поступления парниковых газов из оттаивающей мерзлоты, метана — из болотных систем и т.д., иначе говоря, все происходит не по нашей вине, а именно из-за глобального потепления.

Тем более, геологам известны свидетельства того, что и ранее на Земле наблюдались периоды повышения температур. При этом в атмосфере увеличивалась концентрация углекислого газа, о чем свидетельствует анализ кернов из ледовых отложений в Антарктиде и Гренландии.

Чурилов С. Леса в меняющемся мире. —
«Наука в Сибири», 2011, № 34-35

Иллюстрации с интернет-источников

Материал подготовила Ольга АРТЮХИНА

АНТИЧНАЯ ТРАДИЦИЯ В ИСКУССТВЕ ЭПОХИ МЕРОВИНГОВ



Доктор исторических наук Владимир КУЛАКОВ,
Институт археологии РАН

Сохранившиеся до наших дней предметы материальной культуры той или иной эпохи содержат в себе косвенную информацию о ее культуре духовной. Прочесть эти «послания» сложно, но сама попытка их расшифровки позволяет глубже взглянуть на особенности исследуемого исторического периода. В данном случае речь идет о памятниках декоративного искусства эпохи Меровингов.

В течение нескольких последних лет автору данной статьи посчастливилось работать в фондах Государственного музея изобразительных искусств им. А.С. Пушкина с экспонатами очень интересной коллекции. До 1941 г. они хранились в Музее преистории и протоистории (Берлин). Затем по приказу Гитлера были сокрыты сначала в банковских сейфах, позднее, оберегаемые от бомбежек, в подвалах построенной в виде монументальной башни

зенитной батареи «Flakturm ZOO» (западная часть г. Берлина). 5 мая 1945 г. директор указанного музея профессор Вильгельм Унферцагт передал раритеты советским властям*. Так коллекция украшений и

*См.: В. Кулаков. Сокровище последних викингов. — Наука в России, 2010, № 6 (прим. ред.).

Золотая пряжка из Реймса (Франция, первая половина V в.).



Золотые браслеты с расширенными концами из клада в Коттбусе (восточная часть Германии, первая половина V в.).

других предметов эпохи Меровингов попала в фонды московского музея. Прежде чем пойдет речь об отдельных ее экспонатах, совершим экскурс в очень далекую историю.

Держава Меровингов, охватывавшая в 420–623 гг. часть римской провинции Галлия и ряд древних племенных ареалов западных германцев (прежде всего – франков и алеманнов, последних называли также швабами), была на пороге средневековья крупнейшим «варварским» государством Европы. Ведущей чертой политики первых властителей из этой династии было принятие христианства как государственной религии. В 496 г. конунг (король) Хлодвиг крестился вместе с тремя тысячами своих воинов в ортодоксальную его форму, актуальную на исходе античной эпохи для Западной Римской империи. Этот важнейший акт ставил правителей Галлии в один ряд с остготским королем Италии Теодорихом Великим (ок. 454–526) и византийскими императорами. Амбиции Меровингов, их стремление превратить свое «варварское» королевство в подобие Западной (Гиперборейской) империи, наконец, обретение через акт христианизации духовной легитимности своей власти (или хотя бы ее подобия) нашли отражение в декоративном искусстве эпохи. Как свидетельствуют археологические находки, в деталях мужских и женских уборов, в аксессуарах воинской амуниции, в конском снаряжении внедрялись черты римской традиции. Насколько они органичны, как взаимодействуют с традициями древнегерманского декоративного искусства? И еще: античное наследие в контексте культуры раннесредневековой Западной Европы – это возрождение мира римских образов или визуализация политической программы? Попробуем ответить на эти вопросы (или хотя бы их обозначить).

В начале своего правления представители франкской династии выступали в союзе с римскими администраторами и полководцами (Эгидий и Сиагрий) против нападений вестготов на провинцию Галлию. Как и многие другие «варварские» конунги, Хлодвиг,

фактический основатель державы Меровингов на территории нынешней Франции, в борьбе с окружающими его владения германскими племенами старался всячески подчеркивать преемственность своей власти от имперской. Тезис «подражая Империи» (лат. «Imitatio Imperii»), впоследствии официально принятый Карлом Великим (742–814) и политически им реализованный, в меровингское время просматривался во многих политических акциях властителей Западной Европы. По мере проникновения франков в глубь Галлии осуществлялась их романизация, причем как естественным путем контактов с автохтонами (коренными жителями – романизированными галлами), так и путем насаждения римских обычаев Меровингами. Прохождение службы в ауксилиях*, использование имперской административной и хозяйственной системы в захваченных провинциях, реализация новшеств городской и общественной жизни, язык легионов, наконец, пришедшее с юга в Галлию христианство – все это приводило к внедрению римских норм и традиций. Последние, кстати, активно размывали социальный лейтмотив общества: война как смысл жизни германца. Их массовая культура на грани между эпохами античности и средневековья уже могла позволить ранее «диким варварам» ощущать, пусть и в слабой мере, непередаваемую красоту античных артефактов и использовать их в обиходе сознательно и со вниманием. Кстати, этот пока не отмеченный археологами феномен сохранил до наших дней многие сотни античных предметов, нашедших свою вторую жизнь в обществе франков в эпоху Хлодвига.

На заре меровингской культуры (в конце IV–V в.) материальными свидетельствами идеи воинской власти конунга и близких ему людей становятся золотые браслеты и гривны с колбообразными концами, о чем говорит случайная находка в 1851 г. клада с груп-

*Ауксилии – вспомогательные войска древнеримской армии, состоявшие из иноземцев (прим. ред.).

**Золотые гривны из Велпа
(Нидерланды, начало V в.).**

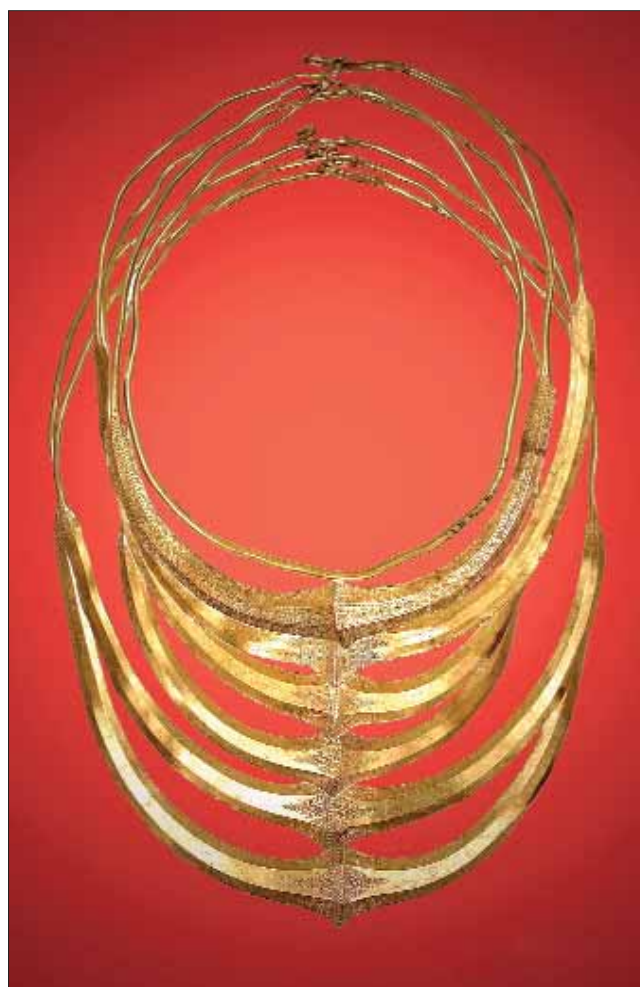
пой таких гривен (шейных украшений), украшенных чеканным орнаментом, на территории современных Нидерландов (город Велп). Судя по кратным размерам и римским нормам веса этих гривен, по отличающему их сложному чеканному орнаменту, а также их количеству они являлись римскими воинскими наградами и были изготовлены в римских провинциях в конце IV в. н.э. Лишь одна из них произведена, скорее всего, «варварскими» мастерами: скромное украшение из толстой проволоки было, очевидно, личной собственностью награжденного. Кроме гривен, в составе находок из Велпа присутствуют два перстня со щитками (на одном — по некоторым предположениям, профильное изображение Императора), спиральное кольцо и проволоочная петля, изготовленные из золота. Трактовать эти перстни в качестве наград (как и явно «варварское» спиральное кольцо) не представляется возможным.

Можно предположить, что безымянный воин-«варвар», совершивший некий подвиг в рядах римской армии, получил награду, специально выполненную римлянами в «варварском» стиле. Так в начале эпохи Великого переселения народов даже в провинциальной среде пограничных легионов при изготовлении «уставных» наградных регалий начиналось смешение античных и «варварских» изобразительных традиций. Отметим, что на территории современных Нидерландов и приграничных земель Германии найдено несколько кладов с гривнами, сходными с обнаруженными в Велпе и являвшимися, по видимому, последними воинскими наградами Рима.

Приемы и образы, использовавшиеся мастерами западных римских провинций на закате Империи, известны, в частности, по инвентарю франкских погребений V в. Судя по ним, группы франков, входившие в состав римских воинских формирований, располагали тогда изделиями римских мастеров. Кстати, благодаря этому обстоятельству до нашего времени дошли, минуя тигли ювелиров V-VI вв., украшения самых разнообразных форм, относящиеся к той эпохе. Они демонстрируют весь спектр изобразительных и технологических возможностей, которыми обладали провинциальные римские златокузнецы: литье изделий по матричным и восковым одно- и двусторонним моделям, обтяжка золотой, а также серебряной фольгой бронзовой основы, напайка пластинчатых гнезд для вставок полудрагоценных камней и гранатового стекла, изготовление тончайшей проволоки, напайка ее вместе с зернью и пр.

Судя по пряжкам, относящимся ко второй трети V в., в имперском ювелирном искусстве развивалась гуннская традиция полихромного стиля, восходящая к декоративным нормам позднеллинистического времени. В рейнских мастерских, снабжавших снаряжением стоявшие на лимесе* легионы, в состав кото-

*Лимес — укрепленный рубеж (вал, стена) со сторожевыми башнями, возводившийся на границах Римской империи (прим. ред.).



рых входили и будущие «подданные» первых Меровингов, практиковалась «плоская схема» вставок камней или стекла на подложке из золотой (реже серебряной) тисненой фольги. Вся эта геометрически организованная конструкция крепилась по периметру напаянным золотым ободом, а фольга и камни держались на светло-серой мастике. Такая схема в меровингском искусстве, в частности до VII в., реализуется на круглых фибулах так называемого рейнского типа. Декор на них не несет уже никакой смысловой нагрузки, показывая зрителю лишь роскошь драгоценного металла и блеск разноцветных камней. Если эллинистические и позднеримские мастера использовали карбункулы (т.е. красные гранаты) из Индии, Цейлона и Эфиопии, то меровингские ювелиры для вставок применяли гранаты причерноморского, а в эпоху викингов — скандинавского происхождения. Меровингские мастера освоили не только приемы изготовления полихромных украшений, но и их имитацию. В таких фибулах камни во вставках заменялись металлическими заклепками.

Не все приемы и типы продукции были восприняты франками у римских торевтов (чеканщиков) и развиты в меровингское время. Так, например, серь-



Серебряные фибулы из Рейнской области (вторая половина V в.).



Бронзовая булавка из Пикардии (Франция, вторая половина V в.).

ги с ажурным или покрытым сканью щитком, с карбункулами-кабошонами*, подвески в виде миниатюрных парфюмерных сосудов (иногда — в форме амфор) и серьги оказались слишком сложны для подражания. Как правило, в центре их щитков находилась полость для заполнения ее, по старой античной традиции, душистыми маслами. Этот изыск «варварским» мастерам повторить не удавалось. Да и сами благовония, очевидно, в постгуннское время перестали поступать из Аравии в Западную Европу. Также не воспроизводились франками и алеманнами римско-византийские серьги с микроскопическими подвесками, хорошо известные в уборе жительниц Империи с III в. н.э.

Сложность исполнения не способствовала тиражированию франками некоторых миниатюрных фибул в составе западно-римского женского убора. Так, например, изящными и редкими образцами римской торевики в массиве экспонатов все той же коллекции из фондов Музея изобразительных искусств им. А.С. Пушкина выглядят миниатюрные фибулы в виде величаво выступающего всадника с развевающимся плащом, булавка с навершием в виде грифона, мистического обитателя воздушного и водного океанов, образ которого абсолютно чужд германскому миру мифических зверей, ложечки для черпания благовоний, фибулы в виде оседланного скачущего коня и лежащей собаки. Все эти фигурки в античном обиходе являлись оберегами своих хозяев. Однако к христианской идеологии, господствовавшей в государст-

ве Меровингов, они формально не имели никакого отношения. Знаменитые франкские «орлиные» фибулы и булавки, безусловно, имеют античные прототипы. Такие застёжки в античном мире появляются в качестве аксессуаров женского убора во II в. н.э. В меровингских мастерских возрождают облик этих застёжек, но бывшие фигурки маленьких птишек-охранительниц сменяются хищными образами воронов.

Конкретные образы римских животных-апоτροпейонов (сакральных охранителей) не обрели популярность в среде христианизированных, пусть и поверхностно, франков. Правда, в целом для германского декоративного искусства териологические (с изображением животных) композиции провинциальных римских мастеров стали в V в. одной из основ для формирования общегерманского «звериного» стиля, характерного и для раннего меровингского времени.

Пути проникновения изобразительных традиций Империи в творческий арсенал германских торево-в эпохи Меровингов весьма непросты. Выше отмечалось, что раннемеровингская знать, находясь в составе римских легионов, пыталась подчеркнуть пре-емственность своего социального статуса, активно использовала престижные аксессуары римского происхождения. Как отмечал в 1988 г. знаток искусства раннего европейского средневековья, доктор исторических наук Герман Федоров-Давыдов (профессор кафедры археологии исторического факультета МГУ им М.В. Ломоносова), «вожди варварских дружин хотели поразить богатством и роскошью... Простые свободные считали себя формально на одном социальном уровне с ними, так как все были свободными.

*Кабошон — способ обработки драгоценного или полудрагоценного камня, при которой он приобретает гладкую выпуклую отполированную поверхность без граней (прим. ред.).



Золотая византийская фибула из Маршелепо
(Франция, первая половина VII в.).

Золотая фибула из Реймса
(Франция, первая половина VII в.).



Но богатство создавало элиту, равенства не было. И к этому богатству, к созданию хотя бы его видимости стремились более бедные свободные члены общества, создавая иллюзорно-роскошные вещи, ... дешёвые подделки под драгоценности становятся на один уровень с ними по своей технике и художественным качествам». Действительно, некоторые типы украшений римского происхождения активно тиражируются франкскими и алеманнскими мастерами. Пожалуй, первое место среди них занимают круглые и квадрифолийные (в виде креста сложной формы) фибулы. Нередко отдаленно сохраняя очертания своих позднеантичных прототипов, «варварские» фибулы упрощенного варианта имеют бронзовую основу, обтянутую (часто довольно грубо) золотой фольгой со вставками-кабошонами, с тиснением и даже со сканью. Нарочитый примитивизм в исполнении и отсутствие в ряде случаев механизма застёжек (или его полного отсутствия) позволяет предположить хотя бы для части таких артефактов исключительно погребальную, декоративную функцию.

В меровингском материале встречены и подлинные римско-византийские, судя по технике исполнения, образцы для круглых фибул, украшенные вставками-кабошонами, и эталоны для застёжек полусферической или конической формы. Некоторые орнаментированные фибулы выполнены столь искусно, что невозможно определить, римская это работа (хотя имперские прототипы таких застёжек неизвестны) или франкская.

На примере украшений эпохи Мерovingов видно участие римских мастеров и их традиций в развитии «варварского» декоративного искусства. В частности, в проработке деталей ряда пальчатых фибул, хранящихся в указанной коллекции, чувствуется, что исполнитель был знаком с античными приемами металлообработки. При этом сама форма застёжки и ее детали — сугубо германские. За многие тысячи миль от Галлии, на Керченском полуострове в эпоху Атиллы* двухпластинчатые фибулы безвестные мастера облагораживали стилизованными античными аканфами (орнаментом в виде листьев). Дужку «звериноголовых», характерных исключительно для германцев фибул оттеняет тончайший античный меандр (геометрический узор).

Нередко в состав сугубо «варварского» по происхождению комплекса украшений входил предмет римской работы (например, подвески-инталии** в ожерельях модниц эпохи Мерovingов). Подобного рода прием «облагораживания» украшения пусть небольшой, но античной вставкой живет в Западной Европе вплоть до Оттоновской эпохи (X–XI вв.), причем даже на предметах христианского культа.

Коллекция из фондов Музея изобразительных искусств им. А.С. Пушкина, как нам представляется, да-

*Атила (?–453) — предводитель гуннов с 434 г. Возглавлял опустошительные походы в Восточную Римскую империю, Галлию, Северную Италию (прим. ред.).

**Инталия — ювелирное изделие, выполненное в технике углубленного рельефа на драгоценных или полудрагоценных камнях (прим. ред.).



Вотивная (посвященная богам) фибула из золотой фольги из Маршелепо (Франция, вторая половина VII в.).

Серебряная «звериноголовая» фибула (место находки неизвестно, конец V в.).

ет ответ на вопросы, поставленные в начале статьи. Попытка реновации империи Меровингами в полном объеме, в том числе во внешнем виде, в уборе европейских жителей органически не была возможна. Познакомившиеся лишь с азами античной цивилизации, да и то нередко — сквозь дым пожарищ, воины-дружинники из окружения Хлодвигу никак не могли стать римскими воинами, пусть и одевались в имперские одежды. Это убранство не смогло дать им то, что обретается столетиями — духовную и социальную культуру, являющуюся одной из основ государственного прогресса. Затухание позднеантичных традиций в целом в декоративном искусстве эпохи Меровингов, подтверждаемое материалами коллекции, однозначно свидетельствуют: эксперимент по воссозданию Римской империи у франков по воле «длинноволосых» королей (традиционно звать франков, прежде всего их короли свои волосы стрижке никогда не подвергали) не удался.

Судьбы античного наследия в Западной Европе благодаря устойчивым квазиимперским нормам меровингского декоративного искусства даже после утраты королями из династии Меровингов их власти складывались вполне удовлетворительно. При посредстве каролингских мастерских Нижнего Рейна римские по происхождению изобразительные приемы передались скандинавским ювелирам. Уже в IX в. в Западной, а затем и в Северной Европе появляются трилистные фибулы и детали поясных наборов с растительным орнаментом, активно регенерирующие римское наследие. Такие артефакты проникают в мир западных славян (Великая Моравия) и в юго-восточную Балтию, испытывая, правда, и прямое византийское влияние. Финал для прямой линии развития римских традиций в европейской средневеко-

вой бижутерии наступает в конце XI-XII в., когда в Скандинавии укрепляются молодые феодальные королевства и оказываются еще раз востребованными квазиимперские формы украшений и декора. Их роль играют римские, а точнее, уже меровингские круглые (дисковидные) фибулы. Как и более ранние скандинавские, эти застёжки со сканным растительным и/или геометрическим орнаментом достигают внушительных размеров. Как правило, такие застёжки были аксессуаром женского убора. На этих воистину блестящих артефактах завершается развитие римской традиции в западноевропейской бижутерии, пережившее Западную Римскую империю на 700 лет. Пример столь долгой консервации и даже развития античных традиций в меровингском, каролингском и викингском декоративном искусстве прямо указывает на тот грандиозный авторитет, которым обладал любой (даже ювелирный) фрагмент римского имперского наследия в глазах средневековых европейцев. Манящий блеск имперского величия не миновал и сознания наших прямых предков. Не прошло и четырех веков с момента затухания римских традиций в европейской культуре (во всяком случае, на примере декоративного искусства), как в эпоху Возрождения нормы античного мировосприятия вновь стали актуальны в Западной Европе, а в России возникла идея «третьего Рима», бывшая актуальной практически до наших дней.

Иллюстрации предоставлены автором

КУПЕЧЕСКАЯ СТОЛИЦА ПРИКАМЬЯ



Ольга БАЗАНОВА, журналист

На высоком правом берегу Камы при впадении в нее реки Тойма стоит Елабуга — один из красивейших малых городов России, отпраздновавший в 2007 г. свое тысячелетие, второй по значимости в Республике Татарстан после ее столицы Казани, богатый уникальными памятниками истории и культуры.

Научное изучение затерянного в веках прошлого этого края началось в середине XIX в. с изысканий местных уроженцев — археолога, библиографа, юриста Капитона Невоструева (член-корреспондент Петербургской АН с 1861 г.), негоцианта,

талантливого инженера-самоучки, горячего патриота Елабуги Ивана Шишкина и государственного чиновника, статского советника Петра Алабина, страстно увлеченного историей. В 1858 г. последний произвел первые официальные раскопки в хорошо изве-



Башня болгарской крепости-мечети.

стном старожилам древнем городище, расположенном в селе Ананьино неподалеку от города. А два года спустя опубликовал результаты своих работ в «Вестнике императорского Русского географического общества».

Вот некоторые выдержки из статьи Алабина. «Курган около 1 сажени вышиною (чуть больше 2 м. — *Прим. ред.*) и 219 шагов в окружности, обложенный «насухо», т.е. без раствора, необделанными каменными плитами... На одре, сложенном из угля, сгоревших бревен и больших стоймя поставленных кусков дерева, оказался костяк, лежавший лицом к северу. В самом одре и на поверхности его, у этого костяка, найдено много различных вещей, а в особенности горшков, наполненных землистою массою и мелкими обугленными костями... Около головы найдено было украшение из глиняных бус, покрытых глазурью; у ног — бронзовые бляшки и бронзовые ожерелья».

Самые древние находки в обследованном Алабиным могильнике, относившиеся к VIII—III вв. до н.э., привлекли пристальное внимание ученых. Именно на их основе удалось выделить археологическую культуру, названную по месту обнаружения ананьинской (распространилась в ту эпоху в Среднем Поволжье, бассейне Камы). Ее отличительные особенности — бревенчатые жилища продолговатой формы, круглодонная лепная глиняная посуда, развитое мотыжное земледелие, скотоводство, черная и цветная металлургия, кузнечное дело.

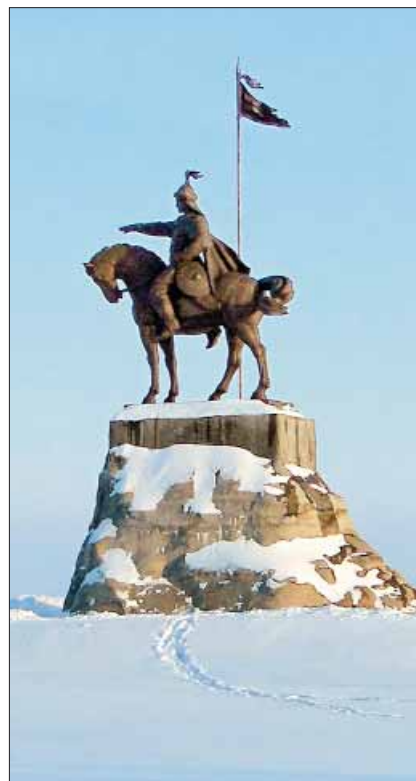
Рождение же города в этих местах связывают с эмиром Волжской Булгарии* Ибрагимом I бен Мухаммадом (1006–1025 гг.), заложившим немало крепостей на границах своего государства — на берегах Волги, Камы, Вятки, в том числе Казань и Елабугу. В 2007 г., во время празднования тысячелетия последней, ему открыли памятник (художник Фиринат Халиков, скульптор Махмуд Гасимов). Величественная конная статуя легендарного правителя стоит на самом высоком месте в округе — вблизи Чертова городища, как издавна называют местные жители остатки белокаменной мечети-цитадели. Ее соорудили в XII в. там, где прежде стояла деревянная, а до нее, в V–VI вв., — укрепленное угро-финское поселение.

Крепость была квадратной в плане (21х21 м), с восемью башнями, одна из которых дошла до наших дней благодаря реставрации, проведенной в 1867 г. по инициативе вышеупомянутого Ивана Шишкина. Этот уникальный памятник — единственное сохранившееся столь древнее булгарское наземное сооружение. Оно представляет собой каменный цилиндр высотой 7,1 м, внутренним диаметром 5,7 м, со стенами толщиной внизу 2 м, вверху — 0,7 м, имеет четыре окна соответственно сторонам света и невысокий металлический купол.

*Волжская Булгария — булгарское государство VII–XIII вв. в Среднем Поволжье и бассейне Камы (булгары, или болгары — тюркоязычные племена, населявшие с IV в. Северное Причерноморье, Северный Кавказ и мигрировавшие в VII в. в Подунавье, позднее в Среднее Поволжье и т. д.) (*прим. ред.*).



Особняк купцов Стахеевых.



Памятник эмиру
Ибрагиму I бен Мухаммаду. 2007 г.
Художник Фиринат Халиков,
скульптор Махмуд Гасимов.

Сам город в те времена находился, по-видимому, там же, где и ныне: еще в 1911 г. здесь обнаружили клад серебряных предметов, относящихся к XI–XIII вв., а в 2000-е годы археологи выявили фрагменты хозяйственных построек и захоронения той же эпохи. Покопив в 1552 г. Казанское царство, в здешние края направился царь Иван IV и заложил в Елабуге Покровскую церковь, пожаловав в нее икону Трех Святителей. Она представляет собой образец старинного греческого письма и по сей день хранится в храме.

Наивысшего же расцвета Елабуга достигла в XIX в., когда стала купеческой столицей Прикамья, — в ней проживало несколько богатейших семей промышленников и негоциантов. Так, местный «миллионщик» Петр Ушков основал в 1850–1860-х годах в округе ряд химических заводов; один из них к концу столетия попал в число крупнейших в стране по разнообразию и объему производимой продукции, причем был единственным в России, выпускавшим хлорную известь. Кстати, в 1893 г. великий русский ученый-энциклопедист, открывший периодический закон химических элементов, Дмитрий Менделеев (член-корреспондент Петербургской АН с 1876 г.)* изготовил пробную партию разработанного им бездымного пороха** именно

на этом предприятии, а впоследствии вспоминал о проделанной там работе: «с гордостью увидел, что может созданное русским деятелем не только не уступать, но и во многом превосходить иноземное».

Ушков много сделал для своей малой родины: оказывал финансовую поддержку тем, кто занимался лесоразведением и мелиорацией, построил несколько больниц, ряд училищ с общежитиями, квартирами для учителей, множество церковно-приходских школ как в самой Елабуге, так и в близлежащих деревнях, при заводах.

Но самой известной была династия предпринимателей Стахеевых, имевших золотые прииски, нефтяные промыслы, пароходства, заводы, к тому же основавших Благотворительный комитет для помощи нуждающимся. Представители этого семейства возводили и содержали храмы во многих приходах страны, немало средств вкладывали в строительство учебных заведений, приютов, в благоустройство родного города. По сей день Елабугу украшают сооруженные ими особняки, административные здания и, конечно, величественный, похожий на дворец, Государственный педагогический университет — бывшее Епархиальное женское училище (1903 г., архитектор Иван Чарушин). Перед его фасадом в 2003 г. установили памятник одному из Стахеевых — Дмитрию Ивановичу, талантливому писателю, творившему в конце XIX — начале XX в. (скульпторы Александр Головачев, Владимир Демченко) как знак благодарности земляков купцам-благотворителям.

Шишкиных же называли ни много ни мало душой города: один из них, священник Зотик, принял от

*См.: М. Савченко. Гордость и слава России. — Наука в России, 2004, № 1 (прим. ред.).

**Бездымный порох — взрывчатые вещества, используемые в огнестрельном оружии и артиллерии, не дающие дыма в момент выстрела. Вид бездымного пороха, предложенный Менделеевым (пирокolloидный), содержит хорошо растворимую нитроцеллюлозу, растворитель и различные присадки, предназначенные для стабилизации газообразования (прим. ред.).



**Епархиальное
женское училище.**



Дом-музей художника Ивана Шишкина.

Ивана IV вышеупомянутую икону Трех Святителей, другой отлил колокол для здешнего Спасского собора, а уже знакомого читателям Ивана Васильевича с 1818 г. неоднократно избирали городским головой. В 1833 г. он спроектировал и построил тут на свои средства (значительно более скромные, чем у местных «миллионщиков») первый водопровод — вода из находившихся в 2 км от Елабуги родников побежала по выдолбленным стволам лиственниц. Примечательно, что сооружение неумоимого изобретателя действует поныне, лишь часть труб заменили на металлические.

Но на весь мир прославил свой род сын Ивана Васильевича, тоже Иван, ставший великим пейзажистом и черпавший вдохновение в родной природе Прикамья. Кстати, наверно, породнившиеся с Шишкиными Стахеевы первыми поверили в его талант: они предложили способному юноше материальную возможность получить образование в Московском училище живописи и ваяния, а затем в Петербурге, в Императорской академии художеств.

В Елабуге сохранился каменный дом, где Иван Иванович родился (1832 г.), провел детство и юность. Ныне здесь находится единственный в России посвященный ему мемориальный музей, в котором воспроизведена обстановка провинциального купеческого быта XIX в., хранятся личные вещи членов семьи живописца. В кабинете главы семейства центральное место занимает письменный стол: на нем мы видим фотографии его супруги Дарьи Романовны, дочерей Александры, Анны, Екатерины и Ольги, а также написанную Иваном Васильевичем книгу «История города Елабуги» (1871 г.) с посвящением: «На память добрым и благодетельным моим согражданам».

Спальню художника воссоздали в соответствии с его рисунком «Вид комнаты в Елабуге» (1850-е годы): деревянная кровать, комод, сундук с лоскутным ковриком, связанным одной из сестер, на стене — автопортреты. Обстановка самого светлого помещения в доме — мастерской — отвечает той, что была в 1860-1880-е годы при жизни Шишкина. Здесь внимание сразу привлекает мольберт с прекрасным этюдом «Хвойный лес» (1873 г.).



Интерьер Дома-музея художника Ивана Шишкина.



Памятник Ивану Шишкину в Елабуге. 1991 г. Скульптор Юрий Орехов.

В этом доме находится и галерея — тоже часть экспозиции, где можно увидеть более 50 подлинных офортов (гравюр на меди) и несколько живописных произведений мастера, в основном относящихся к начальному периоду его творчества. Самая ранняя из картин — «Жатва» (1850 г.), к 1860-м годам относятся романтические этюды «Шалаш», «Мельница в поле», «Белая палата», «Малый минарет», к 1870-м, становлению художника-реалиста, — «Березовая роща» и «Ручей», к 1890-м — светлая, лиричная картина «На даче».

В гостеприимном доме Шишкиных часто бывали и Ушковы, и Стахеевы, другие знакомые купцы и промышленники, елабужский городничий Василий Дуров, а также его сестра Надежда, легендарная кавалерист-девица, прибывшая в эти края в 1831 г. и подружившаяся с Иваном Васильевичем. Она носила гусарский мундир, любила прогулки верхом в окрестностях города, вызывая недоумение провинциальной публики и изнывая от нестерпимой скуки — 10 лет службы (1806-1816 гг.), состоявшей из боев с французами, походов и последующую жизнь в Петербурге трудно было сравнить с ее тихим времяпрепровождением в Елабуге.

«От нечего делать», как писала Надежда Андреевна в «Автобиографии», она решила привести в порядок «разные лоскутки... записок, уцелевших от различных переворотов не всегда покойной жизни..., собрать эти лоскутки и составить из них что-нибудь целое, напечатать..., списавшись предварительно с Пушкиным...». И вот как отзывался наш величайший поэт о прочитанных им воспоминаниях кавалерист-

девицы (1836 г.): ««Записки»... прелесть! Живо, оригинально, слог прекрасный. Успех несомнителен».

Мемуары «русской амазонки» действительно покорили читателей. Некоторые из них даже приняли книгу за творение Пушкина. А литературный критик, публицист, философ первой половины XIX в. Виссарион Белинский писал: «Если это мистификация, то, признаемся, очень мастерская, если подлинные записки, то занимательные и увлекательные до невероятности... Что за чудный, что за дивный феномен нравственного мира героини этих записок, с ее юношескою проказливостью, рыцарским духом; отвращением к женскому платью и женским занятиям, с ее глубоким поэтическим чувством...».

Этой женщине было что вспомнить. В 1806 г., переодевшись в мужской костюм и назвавшись сыном помещика, она примкнула к казачьему отряду, затем поступила в Литовский уланский полк. Надежда Андреевна участвовала в сражениях наших войск с армией наполеоновской Франции в Восточной Пруссии, выказывая завидную храбрость, в частности вынесла с поля боя раненого офицера, за что получила солдатский Георгиевский крест и офицерский чин. Но однажды ее письмо отцу с просьбой о прощении за побег из дома попало в руки одного из родственников, и постепенно слух о девушке, взявшейся за мужское дело, дошел до императора Александра I*. Государь поначалу разгневался, однако убедившись в самоотверженности, искренности и страстном желании Дуро-

*См.: Ф. Петров. Штрихи к знакомым портретам. — Наука в России, 2006, № 1 (прим. ред.).



Кама близ Елабуги.
Художник Иван Шишкин. 1895 г.
Частное собрание.



Сосновый бор.
Мачтовый лес
в Вятской губернии.
Художник Иван Шишкин. 1872 г.
Государственная
Третьяковская галерея
(Москва).

вой служить Родине, разрешил ей остаться в армии в чине корнета под именем Александр Александров.

Во время Отечественной войны 1812 года кавалерист-девица участвовала в сражениях под Смоленском, Колоцким монастырем (в 22 км к западу от Можайска), в Бородинской битве, где была ранена ядром в ногу. Вскоре она получила чин поручика, затем служила ординарцем у прославленного полководца генерал-фельдмаршала Михаила Голенищева-Кутузова*, отличилась в Заграничных походах рус-

ской армии* — в боях за освобождение немецких городов Гамбург, Гарбург, польской деревни Модлин. Остаток дней Надежда Андреевна провела в Елабуге, помогая своей пенсией штабс-ротмистра ветеранам «грозы 1812 года», просто нуждающимся землякам. Умерла она в 1866 г. и была похоронена на местном Троицком кладбище с воинскими почестями.

В городе находится единственный в мире Музей-усадьба Дуровой (открыт в 1993 г.). В этом доме она

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

*Заграничные походы русской армии 1813–1815 гг. — наступление русских войск при поддержке союзников (Пруссия, Швеция, Австрия) на запад для окончательной победы над Наполеоном (прим. ред.).



Памятник Надежде Дуровой. 1993 г.
Скульптор Федор Лях.

Литературный музей.



написала на шумевшие в свое время «Записки кавалерист-девицы», а ныне в нем размещается экспозиция, рассказывающая о ее жизни, военной службе и битве при Бородине, а также о потомках, проживающих во Франции.

Еще одна знаменитая женщина закончила свои дни в городе на Каме. Ее пребывание здесь было совсем недолгим, всего 13 дней, но необычайно трагичным. Речь идет об одном из великих русских поэтов XX в. Марине Цветаевой, опубликовавшей первый сборник стихов «Вечерний альбом» в 1910 г., в 18-летнем возрасте, и сразу обратившей на себя внимание уже известных в то время мастеров слова Валерия Брюсова, Максимилиана Волошина, Николая Гумилева, разглядевших ее большой талант. В 1915-1916 гг. сформировался творческий почерк Цветаевой со свойственными ему гиперболизмом и яркой эмоциональностью, которому она сохранила верность до конца своих дней.

Но, как гласит Евангелие от Луки, кому много дано, с того много и спросится. После революционных событий в России 1917 г. муж Марины Ивановны Сергей Эфрон встал в ряды противников новой власти, затем эмигрировал. В те годы из-под ее пера рождались строки, воспевавшие подвиг белогвардейцев, сражавшихся на полях Гражданской войны с Красной армией. В конце 1921 г. Цветаева составила из этих стихотворений (всего 59) сборник «Лебединый стан» (впервые его опубликовали лишь в 1957 г. в Мюнхене), а в следующем году получила возможность выехать за рубеж — сперва в Берлин, потом в предместья Праги, и семья воссоединилась.

В 1925 г. Цветаева и Эфрон перебрались в Париж, но существование на чужбине было практически ни-

щенским, к тому же Марина Ивановна чувствовала себя здесь чужой: «некому прочесть, некого спросить, не с кем порадоваться..., одна всю жизнь, без книг, без читателей, без друзей...». Стихов ее, особенно в 1930-е годы, почти не печатали, кое-какие средства к существованию давала тогда проза, в частности эссе «Мой Пушкин» (1937 г.), воспоминания о собратях по перу Андрее Белом, Валерии Брюсове, Максимилиане Волошине, Борисе Пастернаке и др.

В 1939 г. Цветаева вслед за дочерью и мужем вернулась на Родину, до начала Великой Отечественной войны 1941-1945 гг. жила в Болшево (ныне в черте города Королев Московской области), а в августе 1941 г. эвакуировалась в Елабугу, перевернув последнюю, самую драматическую, страницу своей жизни. Здесь, в доме № 20 на Малой Покровской улице, Марина Ивановна поселилась вместе с сыном Георгием, но сломленная страшными событиями последних лет (арест мужа и дочери, душевное одиночество), к тому же потеряв надежду найти работу и оказавшись без средств существования, добровольно покинула этот мир.

В 2005 г. тут открыли Дом памяти Цветаевой. Многие вещи Бродельщиковых — хозяев квартиры — сохранились, поэтому удалось детально воспроизвести в ней обстановку военных лет. Неподалеку находится Литературный музей, где можно познакомиться с биографией и творчеством поэта, прижизненными изданиями произведений как ее самой, так и других мастеров слова Серебряного века*: Анны Ахматовой, Николая Гумилева, Александра Блока, Осипа Мандельштама и др. Главный же раздел экспозиции называли «Эвакуация — Елабуга». Здесь самые ценные

*См.: М. Шапошников. «Пушкин! Тайную свободу пели мы вослед тебе!» — Наука в России, 2004, № 4 (прим. ред.).



**Памятник Марине Цветаевой. 2002 г.
Скульпторы Александр Головачев,
Владимир Демченко.**



**Дом памяти
Марины Цветаевой.**

реликвии — вещи Марины Ивановны: чайные ложки, бумага для записей, подаренная ей отцом каменя, купленное в Германии блюдо, прядь волос, копии писем из архива НКВД, пудреница ее дочери.

«Поэта обреченности» похоронили на елабужском Петропавловском кладбище, однако где именно, известно лишь приблизительно. В 1960 г. в том месте ее сестра Анастасия поставила крест, через 10 лет Союз писателей Татарии установил гранитное надгробие. А в 2002 г., в ознаменование 110-летия со дня рождения Марины Ивановны в городе открыли площадь Цветаевой с ее бронзовым бюстом (скульпторы Александр Головачев, Владимир Демченко).

Все уникальные мемориальные комплексы, куда мы совершили путешествие, ныне входят в Елабуж-

ский государственный историко-архитектурный и художественный музей-заповедник, созданный в 1990 г., а через пять лет признанный объектом культурного наследия федерального значения. Поражает своей цельностью и историческое ядро Елабуги: до наших дней дошло более 700 двух- и трехэтажных каменных зданий конца XVIII — начала XX в. По оценкам специалистов Российского научно-исследовательского института культурного и природного наследия им. Д. С. Лихачева она входит в число 30 наиболее хорошо сохранившихся городов России.

Иллюстрации предоставлены автором

ТАЙНЫ ЗЛАТОУСТОВСКОГО МЕТАЛЛА

Академик Вадим СЧАСТЛИВЦЕВ,
главный научный сотрудник
Института физики металлов УрО РАН,
доктор физико-математических наук
Дмитрий РОДИОНОВ,
главный научный сотрудник,
кандидат технических наук Юлия ХЛЕБНИКОВА,
старший научный сотрудник того же института
(г. Екатеринбург, Свердловская область)

**Развитие Златоустовской оружейной фабрики,
основанной в 1815 г. при чугуноплавильном и железоделательном заводе —
одном из крупнейших предприятий Урала начала XIX в.,
связано с совершенствованием происходивших там
металлургических процессов и улучшением качества углеродистой стали.
За 100 лет (с 1817 г. — появления первой продукции по 1917 г.,
когда фабрика стала одним из цехов местного механического завода)
здесь произвели все виды регламентированного в стране
клинкового солдатского и офицерского холодного оружия.
Более трех четвертей таких изделий в России
создано именно тут. В начале XX в., в мирное время,
в Златоусте изготавливали до 150 тыс. единиц оружия в год,
а во время Первой мировой войны эти показатели утроились.**

ОРУЖЕЙНАЯ ШКОЛА: ПУТИ К УСПЕХУ

В первой половине XIX в. на фабрике применяли кричную* сталь, способ получения которой сложен

*Крица — рыхлая, губчатая, пропитанная шлаком (кричным соком) железная масса, из которой путем разных обработок получают кричное железо или сталь (*прим. ред.*).

и трудоемок: заготовку приходилось многократно проковывать. Благодаря мастерству выдающегося русского металлурга Павла Аносова (1799–1851), чья судьба была связана со Златоустовской оружейной фабрикой почти 13 лет, производство качественной кричной оружейной стали продолжали вплоть до



Памятник Павлу Аносову.
Скульпторы Алексей Антропов
и Николай Штамм. 1954 г.
Фото Александра Козлова. 2007 г.

Вид на Златоустовский оружейный завод.
Фото из коллекции
Сергея Прокудина-Горского. 1909 г.
Библиотека Конгресса США.

1854 г. Он же внедрил и так называемую тигельную сталь — ее использовали для изготовления инструмента и холодного оружия.

Свою мечту о получении методом тигельной плавки* «русского булата» Аносов осуществил в 1833 г., о чем собственноручно сделал запись в соответствующем журнале. Чтобы раскрыть его тайну, он провел огромную работу по подбору состава шихты для выплавки стали и режиму ее термообработки. Особое внимание мастер уделял составу металла, он первым в мире в 1831 г. применил для структурных исследований микроскоп. Именно поэтому Аносова по праву называют основоположником металлографии. 19 декабря 1954 г. в г. Златоусте, расположенном в 110 км от Челябинска на границе Европы и Азии, на центральной площади, напротив арсенала, где работал Аносов, торжественно открыли памятник талантливому инженеру, горнозаводскому деятелю и ученому: в руках он держит клинок, а рядом на столике — микроскоп, символизирующий его научный подход к работе.

Экспериментальные плавки по созданию булата здесь продолжали до 1838 г. В результате на фабрике создали несколько десятков клинков, хотя точное их число неизвестно: из-за сложности изготовления такое оружие не могло стать массовым.

*Тигельная плавка — процесс получения металлов и их сплавов в жидком виде в горшках из огнеупорных материалов — тиглях (прим. ред.).

Именно булатные клинки стали в Златоусте украшать позолотой, снискавшей, подобно самому оружию, мировую славу. И здесь нельзя не упомянуть художника Ивана Бушуева (1800–1835), прожившего недолгую, но богатую событиями жизнь. Уже в 1823 г. он начал украшать клинки не только отдельными фигурами, но и батальными сценами. Шедевр его творчества — изображение крылатого коня, впоследствии ставшего гербом Златоуста. Не случайно в 1988 г. на привокзальной площади горожане поставили Бушуеву памятник. Кстати, Аносов тоже принимал участие в совершенствовании методов украшения оружия: он предложил и внедрил гальванический способ его золочения вместо вредного ртутного.

Отметим, в 20-е годы XIX в. на фабрике, кроме клинкового оружия, украшали гравировкой и различные предметы быта: подносы, шкатулки, ларцы. Используя естественную красоту отполированного металла, художники добивались богатой гаммы оттенков, что придавало изделиям неповторимое изящество. Златоустовскую гравюру экспонировали на всемирных и международных выставках в Лондоне (Великобритания), Вене (Австрия), Брюсселе (Бельгия), Чикаго (США), Монреале (Канада). Во второй половине XIX в. ее ассортимент расширился: появились украшенные столовые приборы, охотничьи ножи, декоративные топоры, инструмент для разре-



Памятник Ивану Бушуеву.
Скульптор Владимир Жариков. 1985 г.
 Фото Александра Козлова. 2006 г.

Столярный цех для выделки ножен
при Златоустовском заводе.
 Фото из коллекции
 Сергея Прокудина-Горского. 1909 г.
 Библиотека Конгресса США.



зания бумаги, письменные приборы, декоративные блюда, панно, сувениры, призы.

Наладившееся на фабрике благодаря таланту Бушуева производство художественных металлических изделий привело к созданию десятков полировочных мастерских. «Кустарное производство ножей и вилок возникло в конце 60-х гг. XIX в., — информирует «Златоустовская энциклопедия» (Златоуст, 1994 г.). — Изготовление стальных изделий отличалось большим своеобразием и было разбито на несколько операций. Ковкой заготовок занимались рабочие, имевшие свои кузницы и покупавшие сталь на заводе. Опиловка производилась кустарями на дому, а окончательная доводка изделий — непосредственно в полировочных заведениях. Шлифовально-полировочные станки действовали от водяного привода, и поэтому мастерские располагались по берегам рек Тесьмы, Каменки, Ая. Рабочие-полировщики закупали опиленные заготовки и шлифовали их, уплатив владельцам полировочных заведений за рабочее место. Готовую продукцию продавали скупщикам, которые часто являлись владельцами полировочных заведений. В ассортименте изделий значилось: столовые и хлебные ножи, вилки, закусочные приборы, лопатки для тортов и рыбы, охотничьи кинжалы, ножи для бумаги, трости. Ножи подразделялись по качеству на 6 сортов. Часть изделий украшалась гравировкой и покрывалась никелем. Златоустовские

столовые приборы расходились по всей России и успешно конкурировали с известными павловскими. Общий объем производства полировочных заведений оценивался в 200-300 тысяч рублей в год... После революции полировочные заведения прекратили свою деятельность. В 20-30 гг. XX в. на их базе действовала артель «Металлист».

Вернемся, однако, на оружейную фабрику. Развитие упомянутого тигельного процесса продолжил в 1854-1861 гг. выдающийся инженер-металлург Павел Обухов (1820-1869). Он организовал производство литой тигельной стали на основе скрап-рудного (разновидность мартеновского) процесса и обоснованно считал, что она превосходит по качеству крупновскую, изобретенную в начале 1850-х годов в Германии на заводе известного немецкого промышленника Альфреда Круппа (1812-1887). Хороший металл был жизненно необходим России, ибо неудачная Крымская война 1853-1855 гг. показала отсталость вооружения, базировавшегося на бронзовых гладкоствольных орудиях. Обухов реализовал свою мечту: получил отливки для пушек, ружейных стволов, холодного оружия, кирас (латных доспех), инструментов и других изделий. В 1854-1861 гг. на фабрике сформировали крупное промышленное производство литой углеродистой стали, из которой были изготовлены первые в России орудия. Но вскоре его перевели в Санкт-Петербург (Обухов-



Шпага кавалерийская офицерская образца 1798 г.
Художник-гравер Иван Бушуев.
1830 г. Златоустовский краеведческий музей.



Клинок сабли. Художник-гравер Иван Бушуев.
1823 г. Златоустовский краеведческий музей.

ский завод) и Пермь (Сталепушечный завод «Мотовилиха»). Однако литая сталь мастера оставалась основой для создания холодного оружия в Златоусте вплоть до начала XX в. Заметим, производство таких орудий было освоено во Франции только в 1873 г., а в Англии — в 1881-м.

После отъезда в 1863 г. Обухова в город на Неве и основания там завода совершенствование методов выплавки стали и качества слитков продолжили металлург Александр Лавров (1838-1904) и генерал-майор, инженер, металлург Николай Калакуцкий (1832-1889). Они открыли явление ликвации (от лат. *liquatio* — разжижение, плавление) стали и установили его зависимость от размеров слитка.

СТАЛЬ «ДЕРЖИТ ОБОРОНУ»

В Институте физики металлов УрО РАН изучили структуру и химический состав холодного оружия XIX-XX вв., изготовленного Златоустовской фабрикой во время работы здесь Аносова и Обухова, а также в более поздние исторические периоды из кричной, литой тигельной и мартеновской стали.

Мы рассмотрели 4 варианта образцов, принадлежащих частным коллекционерам и Златоустовскому государственному краеведческому музею: от клинка, пяты и два — от хвостовика. Структурная оценка ча-

сто зависит от места вырезки. Сам клинок, как правило, закален на мартенсит или сорбито-трооститную структуру и отпущен*, поэтому по нему практически невозможно оценить содержание углерода в стали металлографическим методом. Образец, отрезанный от хвостовика, дает полное представление о составе кованца, и по нему можно легко установить наличие углерода. Металл же от пяты не подвергают термообработке при закалке или же обрабатывают частично, поэтому чаще всего по нему определяют содержание углерода без дополнительного отжига.

В основе производства кричной (сыродутной) стали для холодного оружия лежит двухстадийный процесс: сначала получают рафинированный чугуны, а затем из него и железных обсечков (мелкого лома, обрезков) добывают сталистую крицу, которую переворачивают, продувают и направляют на ковку в бруски или полосы.

На Южном Урале лучшим считали чугуны Саткинского завода (г. Сатка Челябинской области). Пер-

*Закаленная сталь имеет неравновесную структуру мартенсита, бейнита, троостита или сорбита — составляющих железоуглеродистых сплавов. Чаще всего при закалке ее резко охлаждают на мартенсит, смягчая действие процессом отпуска — нагрева до температуры ниже критической точки. При этом структура стали из мартенсита закалки переходит в мартенсит, троостит или сорбит отпуска (прим. ред.).

**Сабля «Азиатская» из сварного булата. 1900-е годы.
Златоустовский краеведческий музей.**

вичный металл после переплава в особых горнах выливали на плиты, охлаждая водой. Чугун тем самым очищался от примесей и одновременно отбеливался. При этом металлическая заготовка превращалась в сырую неоднородную сталь, имеющую шлаковые и другие включения, поэтому ее рафинировали, для чего проковывали в полосы и закаливали в воде. И этот материал сортировали по виду излома, степени твердости и чистоте. Пригодные полосы (до 20 штук) сваривали в брусок, рассекали на две части (поперек), снова сваривали, повторяя операцию несколько раз, а потом опять проковывали и прокатывали в полосу, получая односварочную сталь. Однако для создания холодного оружия она не годилась: материал вновь подвергали сварке в брусок, рассечению, новой сварке и проковке в полосы двухсварной стали. Из нее-то и получали добротные заготовки. В 1817-1850 гг. на Златоустовской фабрике из них сделали более 700 тыс. клинков различного солдатского и офицерского холодного оружия.

Химический анализ исследованных нами оригиналов — детской сабельки 1828 г., сабли кавалерийской 1836 и 1839 гг., шашки казачьей 1852 г. выпуска и других изделий — показал высокую чистоту металла по примесям Si, Mn, Cr, Ni, Cu, что характерно для кричной стали всех уральских металлургических заводов, работавших в XVIII-XIX вв. Но она имела одну особенность — примесь меди (Cu) в количестве нескольких десятых процента как следствие значительного ее содержания в железных рудах. 0,25 % Cu мы обнаружили в казачьей шашке, откованной в 1852 г. В этом же образце выявили повышенное содержание никеля (~0,13%), что нетипично для кричной стали, и фосфора — от 0,035 до 0,075%.

Структура исследованных нами сабельных клинков 1835 и 1839 гг. из двухсварной стали, как и большинство промышленных образцов кричного металла, оказалась неоднородной, что связано с химическим составом и особенностями технологии заготовок. Она проявлялась в отчетливой слоистости в некоторых участках кованца, где перлитная структура с выраженной ферритной сеткой чередовалась с ферритными слоями.

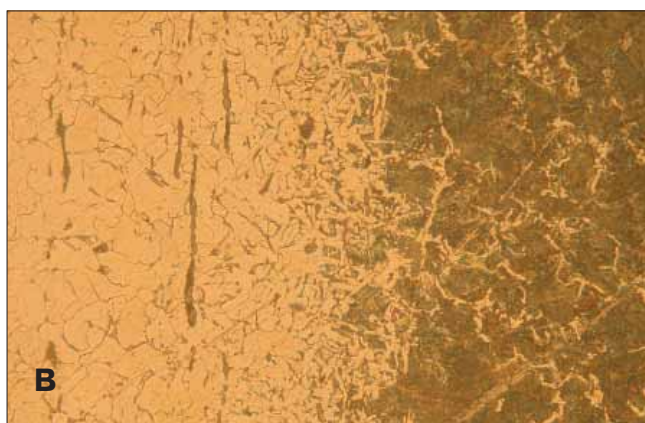
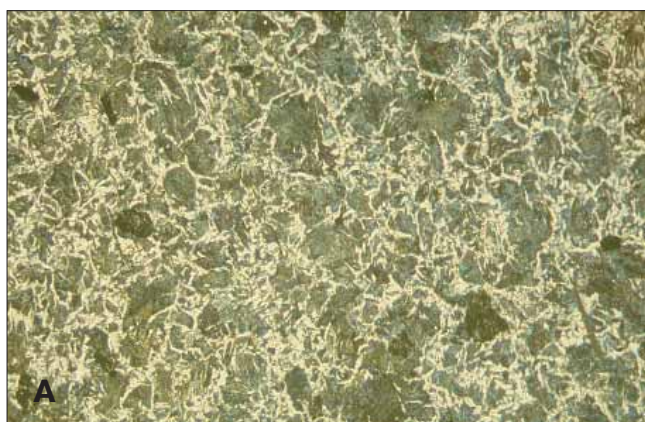
Кричную сталь отличает также присутствие шлака в виде строчек и точечных включений, хорошо видных, например, в ферритном слое сабельного клинка 1835 г. Слоистая картина просматривалась и на оружии 1852 г.: здесь участки малоуглеродистой стали (не более 0,15% C, ферритная структура) соседствовали с высокоуглеродистыми мелкозернистыми (феррито-перлитная структура) при большом количестве шлаковых включений. Их различная форма в виде строчек, вытянутых в направлении структурной полосчатости, и точек объясняется направлением вырезки образцов из клинка: в первом случае — вдоль кованца, во втором — поперек. На оружии



1839 г. структура более однородная, хотя и здесь заметны изменения содержания углерода на разных участках оригинала от 0,20-0,25 до 0,40-0,45%.

Созданная Аносовым технология тигельной плавки заключалась в соединении процесса цементации из газовой фазы с выплавкой стали. Обычно кричное железо насыщали углеродом за счет раскаленного древесного угля, заполняющего горн и находящегося вне открытого тигля. Процесс обуглероживания железных и стальных обсечков регулировали путем закрытия огнеупорного горшка крышкой и повышением, по возможности, температуры в горне. Аносов исследовал и зафиксировал в журнале десятки возможных вариаций плавки. В результате в 1830 г. появилась возможность делать клинки из литой стали мягкой, средней и крепкой твердости. Первая шла преимущественно на изготовление оружия (его, кстати, не клеймили, во всяком случае, данных о существовании таких клинков нет), остальные — «на дело как слесарного и столярного инструментов, на наварку горных инструментов и топоров».

Изобретательная работа по выплавке литой стали привела Аносова к созданию «русского булата». В основу этой технологии положены те же принципы, что и при получении классического вутца (слитка): сплавление в тигле железа и углеродсодержащих материалов. Лучшие слитки булатного металла весили



Микроструктура металла клинков, изготовленных из кричной стали:

А – сабельный клинок 1835 г. (увеличение в 120 раз);

В – шлаковые включения в ферритном слое сабельного клинка 1835 г. (увеличение в 120 раз);

С – сабельный клинок 1839 г. (увеличение в 150 раз);

Д – шашка казацкая 1852 г. (увеличение в 120 раз)

12-14 фунтов и шихтовались из чистого железа (часто тагильского), графита и некоторого количества шлакообразующих добавок.

В статье «Структура трех златоустовских булатов» (журнал «Физика металлов и металловедение», 2008, №2) мы опубликовали данные, проливающие свет на состав этого сплава. Нами был сделан химический анализ клинка 1841 г., имеющего клеймо Аносова. Он изготовлен из чистой заэвтектоидной стали (так называют металл, содержащей от 0,8 до 2,14% С) с незначительным количеством примесей Si, Mn, Cr, Ni, Cu. Углерода в нем – 1,4-1,5% (оценка проводилась по структуре отожженного образца). Анализ материала, вырезанного из кончика лезвия клинка, показал: это закаленная на троостит сталь с множеством строчечных карбидных включений, формирующих характерный узор на поверхности клинка.

В 1854 г. назначенный директором Златоустовской оружейной фабрики Павел Обухов наладил массовое производство новой литой тигельной стали. В шихту включали стальные и железные обесечки, магнитный железняк (лучшей считалась качканарская руда) и отбеленный рафинированный чугуи. Кстати, Обухов рассчитал шихту для пятнадцати сортов стали с различным содержанием С. По данным «Горного журнала» (1858 г.), одни из них были высокоуглеродистыми (1,36% С), другие – клинковыми (0,54 % С). Количество примесей, в том числе кремния, в них было незначительным. Эти стали, подчеркивалось в журнале, «чрезвычайно однородны, имеют мелкозернистое сложение». Некоторые клинки, выпущенные в 1854-1861 гг., имели клеймо: ЛПО или ЛСПО – литая сталь Павла Обухова. С октября 1857 г. (дата выдачи мастеру привилегии на эту выплавку) по июнь 1860 г. на фабрике изготовили из нее 89500 единиц оружия.

Что касается химического анализа «булатного» клинка Обухова 1859 г., то в его металле, отнесенном к заэвтектоидной тигельной стали, мы обнаружили довольно большой процент марганца (он введен, предположительно, специальной добавкой зеркального – марганцовистого чугуна, но мог попасть и с рудой) и необычно высокое содержание фосфора – 0,14%. По количеству других элементов – Si, Ni, Cr, Cu – это чистая сталь.

Мы исследовали еще четыре образца литой стали: от тесака (1860 г. выпуска), клинка (1878 г.) и драгунских шашек – офицерской образца 1881-1909 гг. (1893 г.) и солдатской образца 1881 г. (1900 г.) Содержание углерода, оценку которого проводили по структуре отожженных образцов, отрезанных от пя-

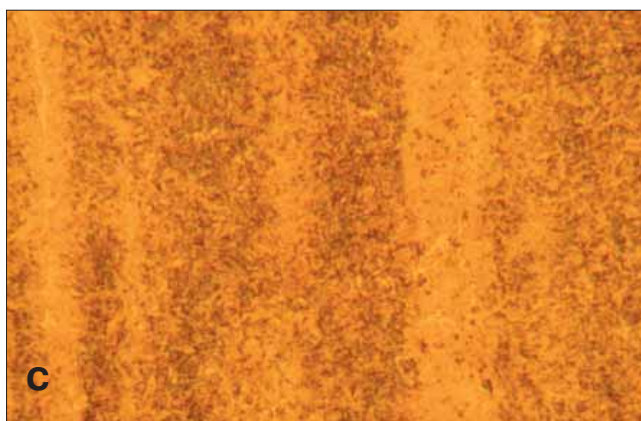
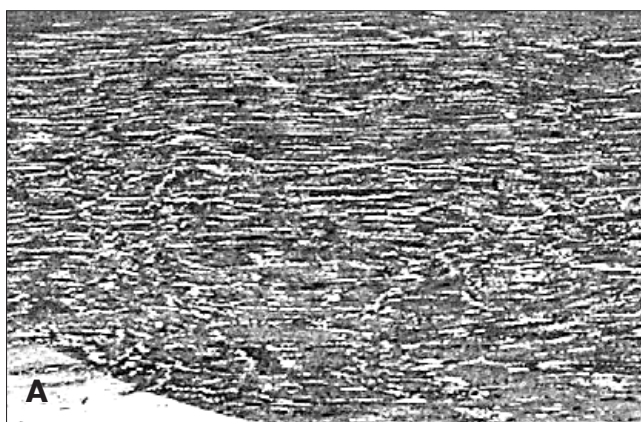
ты, в первых двух видах оружия составляло $\sim 0,6\%$ и почти столько же ($0,6-0,7\%$) его было в шашках. Одним словом, химический анализ свидетельствует: это литая чистая углеродистая сталь с небольшим содержанием кремния, марганца и умеренным фосфора ($\sim 0,04\%$).

По способу Обухова клинки производили, скорее всего, до конца XIX в. Есть данные, что в 1886 г. в качестве шихтовых материалов для тигельной плавки применяли сталь пудлинговую (от англ. puddle — перемешивать) ломаную, изготовленную на Саткинском заводе, чугуны рафинированные ломаные (бакальская группа железорудных месторождений, расположенных на западном склоне Южного Урала), руду битого магнитного железняка.

В конце XIX — начале XX в. появилась возможность использовать для тигельной плавки основную мартеновскую сталь, при этом пускали в ход лишь шлакообразующие добавки, а магнитный железняк исключали. Так Обуховский способ уступил место более современным и экономичным процессам.

Развитие, начиная с 1881 г., на Златоустовском заводе нового производства открывало путь к изготовлению холодного оружия из мартеновской стали вначале кислой, позднее — основной (заметим, клинки 1893 и 1900 гг. выпуска могли быть сделаны из нее). По данным рекламного проспекта Всемирной Колумбовой выставки 1893 г., кислую мартеновскую сталь уже использовали для создания холодного оружия. Известно, что в 1915 г. на производство клинков было пушено одновременно с тигельной сталью 1200 пудов такого металла. Из него можно было произвести $\sim 10-12$ тыс. клинков. Вероятно, его достаточно широко использовали в этих целях, учитывая большой спрос на холодное оружие во время Первой мировой войны.

Мы изучили химический состав клинков из мартеновской стали и структуру двух драгунских шашек образца 1881-1909 гг., сделанных в 1915 г., сравнили средние значения содержания элементов в ряде плавок клинковой основной и кислой мартеновской сталей, полученных в 1917 г., и выяснили: количество кремния и марганца, а также фосфора в шашках практически совпадает с архивными данными 1917 г. Причем во всех образцах присутствует хром (до $0,15\%$), что позволяет предположить — это мартеновская сталь. Их структура однородна, состоит из перлита различной степени дисперсности и прерывистой ферритной сетки, что соответствует $\sim 0,5-0,55\%$ -ному содержанию углерода в металле.



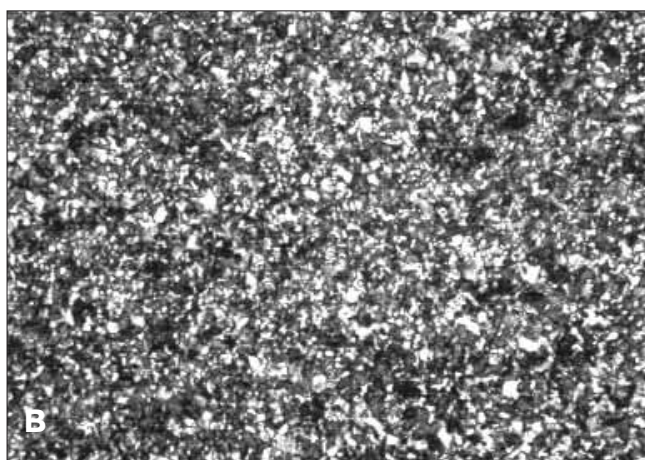
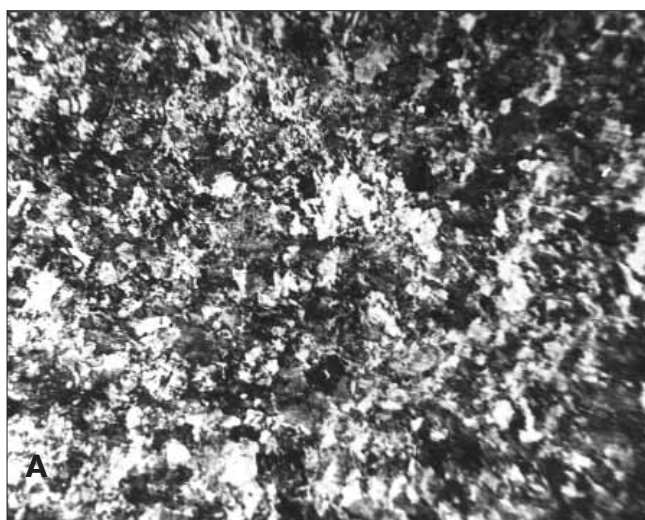
**Структура литой стали булатных клинков
Павла Аносова и Павла Обухова:**

A — фрагмент клинка Аносова с узором;

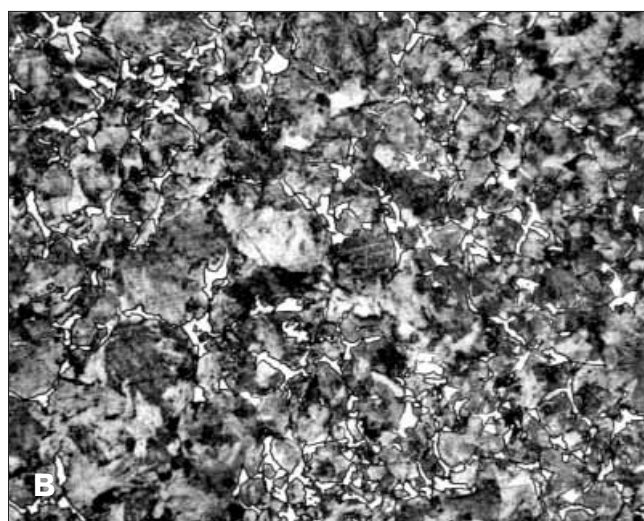
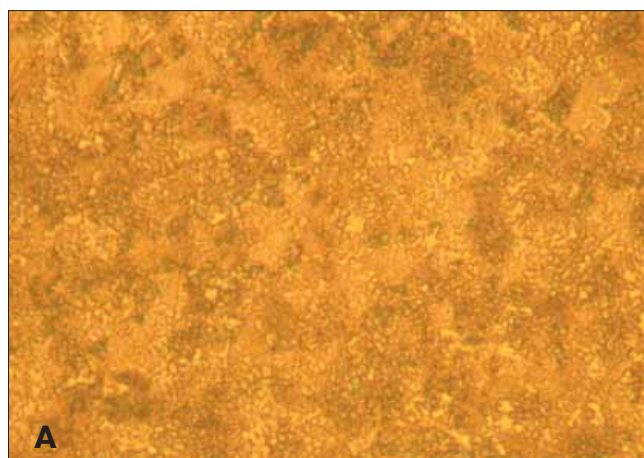
**B — микроструктура заэвтектоидной стали
клинка Аносова 1841 г. в плоскости
и продольном сечении (увеличение в 200 раз);**

**C — микроструктура заэвтектоидной стали
клинка Обухова (увеличение в 600 раз);**

D — клеймо Аносова на булатном клинке 1841 г.



Структура клинков, произведенных из тигельной стали Павла Обухова: А – фрагмент тесака образца 1848 г., выпуск 1860 г., отрезан от пяты, тонкопластинчатый перлит; В – фрагмент клинка выпуска 1878 г., отрезан от пяты, тонкопластинчатый перлит (увеличение в 300 раз).



Структура мартеновской стали: А – шашка драгунская офицерская 1915 г. (хвостовик) (увеличение в 500 раз); В – шашка драгунская солдатская 1915 г, пята (увеличение в 240 раз).

Фосфора в нем не более 0,02 %, а это говорит о существенном качественном превосходстве мартеновской стали над тигельной.

Итак, данные по структуре и химическому составу углеродистой стали для холодного оружия, произведенного на Златоустовской оружейной фабрике в XIX – начале XX в., отражают общую тенденцию развития металлургии на уральских заводах и в мире. Мастерство металлургов, кузнецов, изготовителей клинков, знатоков их калки – вот что определяло качество холодного оружия. А для металла, из которого его делали, важными были чистота руды, свойства древесного угля, соответствующие времени металлургические технологии.

Применявшаяся для получения добротных изделий мартеновская сталь имела важное преимущество – низкое содержание фосфора (0,02-0,03%), но если говорить о чистоте по примесям, то она хуже тигельной. И тем не менее данный недостаток в пер-

вой четверти XX в. с лихвой компенсировали легированием клинкового металла хромом, марганцем и даже вольфрамом. Английский путешественник и естествоиспытатель Родерик Мурчисон, в 1841 г. побывавший в наших краях, признавался: «Довольно сомнительно найдется... хотя одна фабрика в целом мире, которая выдержала бы состязание со Златоустовской выделкой оружия».

Исторические фотографии холодного оружия из альбома «Златоуст. Холодное украшенное оружие XIX-XXI веков». Авторы-составители Л.В. Лаженцева (Златоустовский краеведческий музей), Е.В. Тихомирова (Галерея «Русские палаты», Москва). – М.: Интербук-бизнес, 2008

Иллюстрации предоставлены авторами

ЭФФЕКТ РЕЗОНАНСА

Игорь СИЛКИН,
директор Музея-лаборатории Е.К. Завойского
Казанского (Приволжского) федерального университета
(г. Казань, Республика Татарстан)

В 1994 г. на Международном амперовском конгрессе, посвященном 50-летию открытия электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), в Казанском государственном университете, где проходил форум, организовали выставку физических приборов XIX — начала XX в.

Среди них был уникальный экспонат — действующая установка для наблюдения эффекта поглощения радиочастотного поля в веществе, описанная в докторской диссертации выдающегося физика-экспериментатора Евгения Завойского.

С ее помощью в 1944 г. он сделал пионерское открытие, положившее начало новой быстроразвивающейся области современной физики — магнитной радиоспектроскопии.

Представленные материалы вызвали неподдельный интерес российских и зарубежных участников, предложивших создать в этих стенах Музей-лабораторию.

И спустя 3 года руководство вуза выделило для этого аудиторию № 253 (ныне № 246), где и был открыт ЭПР.

Для Казанского университета имя Завойского* в физике так же значимо, как имя Николая Лобачевского — создателя неевклидовой геометрии в математике (1826 г.) и теории строения органических соединений (1861 г.), Александра Бутлерова в химии, языковеда-словиста Ивана Бодуэна де Куртенэ в филологии. Академик (с 1964 г.), лауреат Сталинской (1949 г.) и Ленинской (1957 г.) премий, Герой Социалистического Труда (1969 г.), Завойский родился в 1907 г. в г. Могилеве-Подольском Винницкой

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

ких соединений (1861 г.), Александра Бутлерова в химии, языковеда-словиста Ивана Бодуэна де Куртенэ в филологии. Академик (с 1964 г.), лауреат Сталинской (1949 г.) и Ленинской (1957 г.) премий, Герой Социалистического Труда (1969 г.), Завойский родился в 1907 г. в г. Могилеве-Подольском Винницкой



Академик Евгений Завойский
в домашней библиотеке. 1957 г.

области (Украина). С Казанью — городом на Волге — у него связаны почти сорок лет жизни. Сюда он переехал с семьей в августе 1908 г., затем учился в трехклассном начальном училище (1915–1917 гг.) и в новой Зареченской школе №10. Среднее образование продолжил в г. Слободском на реке Вятке, куда семья переехала после смерти отца Константина Ивановича. В 1925 г. Завойский вернулся в Казань и в 1926 г., окончив девятилетку, поступил в один из старейших в России, основанный в 1804 г. императором Александром I, Казанский университет. Студент, аспирант, кандидат, доктор физико-математических наук, первооткрыватель явления электронного парамагнитного резонанса — таким был завершающий этап казанского периода его научной деятельности, каждый шаг которого отражен в многочисленных экспонатах, архивных документах и материалах мемориальной лаборатории. Подчеркнем: среди нескольких музеев, работающих в Казанском университете — истории, химической школы, астрономии, этнографического, археологического, геологического, зоологического, ботанического, — Музей-лаборатория Е.К. Завойского самый молодой.

Его формирование началось задолго до упомянутого Международного амперовского конгресса. В 1975 г. по инициативе Завойского из Москвы в Казань перевезли его самодельные установки и измерительные приборы конца 1950-х годов. Оборудование, использованное им для поиска сигналов ядерного магнитного резонанса весной 1941 г., и установка по электронному парамагнитному резонансу 1943–1944 гг., на которой экспериментатор впервые наблюдал это явление, были утрачены. Профессор Семен Альтшулер (член-корреспондент АН СССР с 1976 г.), в ту пору заведующий кафедрой магнитной радиоспектроскопии, предложил мне, студенту физико-математического факультета, заняться их реконструкцией. Понимая, что данная задача невыполнима без подробного изучения дневниковых записей и воспоминаний сотрудников Евгения Константиновича, его личных документов и архива университета, детального знания аппаратуры того времени, он посоветовал мне вначале изучить научную деятельность Завойского в стенах Казанского университета и историю ЭПР.

С того момента и началась кропотливая, длившаяся 15 лет работа по поиску электро- и радиоизмерительных приборов 1930–1940-х годов, сбору материалов о жизни ученого в библиотеках, архивах и музеях, научно-исследовательских институтах и образовательных вузах, в частности в фондах Казанского университета, Академии наук Республики Татарстан и ее Национальном архиве, Институте физических проблем им. П.Л. Капицы (Москва), Академии наук СССР.

Удалось разыскать редкие вещи: использованный Завойским в 1943–1945 гг. усилитель низкой частоты, входящий в состав американского профилометра Аббота — прибора, предназначенного для оценки шероховатости поверхностей, осциллограф «Триумф», участвовавший в экспериментах 1946–1947 гг. Были обнаружены и другие приборы, применявшиеся, как свидетельствовали исторические материалы, преподавателем Казанского университета Завойским во время чтения лекций по физике. Поиск подлинной аппаратуры, на которой он работал, шел не только в университете, но и в авиационном, медицинском, педагогическом, сельскохозяйственном, ветеринарном институтах Казани, городской школе №131, на авиационном заводе №16, а также у частных коллекционеров.

Параллельно формировалась библиотека из личных книг физика, а также литературы, упоминавшейся в архивных записях. Собраны воспоминания коллег и современников, в частности, профессоров Казанского государственного университета Бориса Козырева (член-корреспондент АН СССР с 1968 г.) и Семена Альтшулера — вместе с ними Завойский исследовал физические и химические воздействия ультракоротких волн (УКВ) на вещество. Особое место в собрании заняли воспоминания родственников — дочери ученого Наталии и брата Вячеслава.

**Казанский (Приволжский)
федеральный университет.
2000-е годы.**



**Экспозиция
Музея-лаборатории
Е.К. Завойского
и его директор Игорь Силкин.**

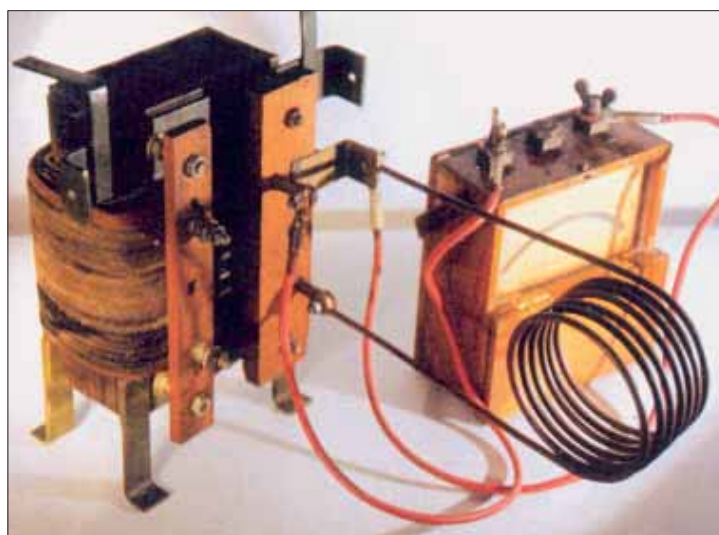
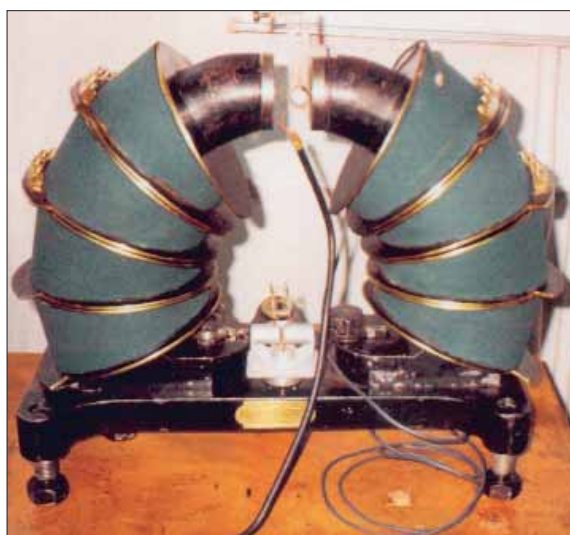
По результатам поисковых работ были подготовлены выставки и публикации, в том числе доклады, неоднократно представлявшиеся на конференциях и ежегодных чтениях памяти Завойского.

Открытие музея состоялось 28 сентября 1997 г. — в день 90-летия со дня рождения академика. Примечательно: интерьер помещения достоверно повторяет обстановку 1930–1940-х годов, восстановленную по записям тех лет. Реконструировано не только лабораторное оборудование, но и старый дубовый паркетный пол, окна, двери, стены, потолок, светильники. Сама же экспозиция дает представление о том, как ученый шел к главному событию своей жизни. Была также составлена хронологическая таблица с детальным (по дням) отражением его научной деятельности с 1926 по 1947 г.

Напомним некоторые важные вехи на пути к открытию. Научными экспериментами Завойский занимался с детства. «Я собрал свой первый электрический звонок и электрическую машину трения, когда мне было семь лет, еще не научившись читать, — вспоминал он. — А потом началось страстное увлечение радиолюбительством».

В школьном кружке г. Слободского он постигал основы радиотехники. Там же собрал первый детекторный приемник, посещал строящуюся радиостанцию для приема и передачи телеграмм в Вятку. Вернувшись в Казань, продолжил заниматься любимым делом: собрал довольно мощный ламповый приемник и установил для него на крыше дома антенну.

В последних классах школы накопил изрядные знания по физике и радиотехнике, поэтому твердо решил



Устройства, использованные Евгением Завойским в ЯМР- и ЭПР-экспериментах: постоянный магнит Дюбуа и соленоид, в который помещалась катушка радиочастотного генератора с образцом, питаемым от сварочного аппарата.

поступать на физико-математическое отделение Казанского университета. Будучи студентом второго курса, получил патент на изобретение «Устройство для управления механизмами на расстоянии», состоящее из параллельных дисков, снабженных электрическими контактами. Суть новшества заключалась в следующем: по радиосигналу включался часовой механизм или электродвигатель, он поворачивал диски один относительно другого на определенный угол, зависящий от длительности сигнала. В это время контакты приходили в соприкосновение, и команда через систему рычагов и электромагнитов передавалась на исполнительный механизм.

Занимался Завойский и другими работами: сделал секретный телеграф и автоматический ключ к нему, аппарат для передачи и приема цветных неподвижных изображений по радио и проводам, проводил опыты с селеном и ртутью для создания усилителя радиосигналов. Экспозиция с его школьными и студенческими приборами сейчас находится в разработке.

Первый серьезный научный труд молодого ученого «К вопросу о газoeлектрических аналогиях» был опубликован в мае 1929 г. в журнале «Вестник студенческого физико-математического кружка им. Н.И. Лобачевского» при Казанском университете. Цель работы состояла в том, чтобы обнаружить газодвижущую силу для контакта жидких тел, точнее, таких пар, как вода-керосин и вода-растительное масло. Это были попытки самостоятельного исследования явления, обнаруженного в начале 1920-х годов известным советским физиком Иосифом Косоноговым (академик АН УССР с 1922 г.). Но Завойский пошел дальше: он рассмотрел эффект не только для твердых, но и для жидких тел. Его труд высоко оценил заведующий кафедрой физики профессор Всеволод Ульянов (1863–1931).

По окончании в 1930 г. Казанского университета Евгений поступил в аспирантуру и был направлен в Ле-

нинград, в Центральную радиолaborаторию, где изучал суперрегенеративный радиоприемник в лаборатории ультракоротких волн у профессоров Георгия Остроумова и Николая Циклинского. Параллельно (совместно с сотрудником лаборатории Петром Винником) трудился над синфазным генератором УКВ. Эти работы легли в основу аспирантской диссертации «Исследование суперрегенеративного эффекта и его теория», защищенной в 1933 г. К сожалению, подлинник пока не найден, но по черновикам и рецензии профессора Александра Шипчинского диссертация была восстановлена.

После защиты Евгения Константиновича назначили исполняющим обязанности заведующего кафедрой физики Казанского университета. В организованной им УКВ-лаборатории он исследовал явление поглощения электромагнитного поля веществом, используя так называемый метод «сеточного тока». Речь шла об изменении тока сетки и анода при нагрузке колебательного контура генератора, в который помещалось исследуемое вещество. В Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта (Республика Татарстан), в помещении меридианного круга, был найден один из самодельных ультракоротковолновых генераторов, с помощью которого ученый и проводил в 1936 г. эти опыты. Теперь находка стала одним из наших музейных раритетов.

Экспериментальную деятельность Завойский органично сочетал с преподавательской. Под его руководством в университете заново создали физический практикум, открыли новые лаборатории. Некоторые экспонаты, закупленные в то время — квадрантный электромметр Долезалека для измерения электрического потенциала, аstaticеские гальванометры Нобили, газоразрядная трубка Фарадея, выпущенные немецкими, французскими и английскими фирмами, — теперь хранятся в музее.



Квадрантный электрометр
Долезалека (1895 г.).



Астатический
гальванометр Нобили (1920 г.).

Получив в 1938 г. степень кандидата физико-математических наук, Завойский стал трудиться над докторской диссертацией «Экспериментальное и теоретическое исследование некоторых явлений в электрических и магнитных полях высокой частоты», где хотел обобщить практически все предыдущие работы по этой тематике. Однако защитить ее ему не удалось по невыясненной до сих пор причине.

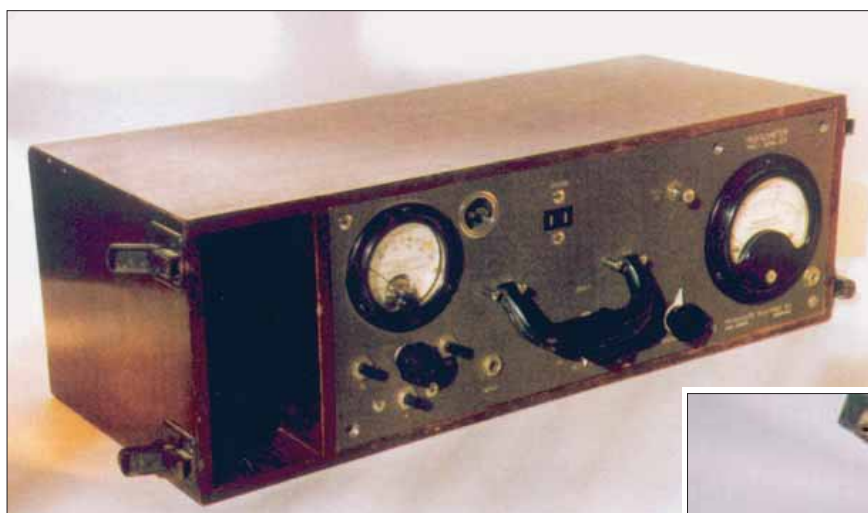
В 1941 г. он расширил диапазон используемых частот, все более углубляясь в проблему поглощения электромагнитных радиоволн веществом. Отметим, это явление физики начали интенсивно изучать в начале 1930-х годов. Основные труды принадлежали зарубежным коллегам Корнелиусу Гортелу (Нидерланды), Исидору Раби (США) и другим. Причем особый интерес Завойский проявлял к работам Гортеля, использовавшего в поисках ядерного парамагнитного резонанса колориметрический (тепловой) метод. Но голландцу так и не удалось получить нужных результатов. Евгений Константинович, стремясь обнаружить ядерный магнитный резонанс (ЯМР), решил применить разработанный им более чувствительный метод «сечного тока».

В материалах Государственного архива Республики Татарстан были обнаружены отчеты о работе кафедры физики за 1941 г. с отметками о начале экспериментов в этой области. Сохранилась и тетрадь ученого с их записями, датируемыми весной-летом 1941 г. Можно однозначно сказать: уже тогда он предпринимал попытки обнаружить ЯМР. Однако начавшаяся в 1941 г. Великая Отечественная война заставила Завойского

свернуть тему и переключиться на оборонные задачи. Так он попал в лабораторию Владимира Аркадьева (член-корреспондент АН СССР с 1927 г.), где изобрел новый излучатель ультракоротких волн.

Только в конце 1943 г. Завойский вновь вернулся к поиску ЯМР. Удалось установить: в том же году Казанский университет выдвинул его в Сталинскую докторантуру, но Москва не утвердила это предложение. Любопытное совпадение: именно в день отказа он возобновил работу по определению магнитных моментов атомных ядер, применяя более чувствительную аппаратуру и метод модуляции. В начале 1944 г. в слабых магнитных полях (~ 10 Э) при длине волны радиочастотного поля 30 м (10 МГц) он обнаружил сигналы резонанса, хотя частоты и поля не совпадали с показателями ЯМР. При обсуждении проблемы с тогдашним заведующим кафедрой физики Казанского университета Яковом Френкелем (член-корреспондент АН СССР с 1929 г.) в ходе дискуссии они пришли к согласию: в данном случае они наблюдали явление электронного парамагнитного резонанса. Удалось установить точную дату наблюдения эффекта — 21 января 1944 г.

Весной 1944 г. ученый написал докторскую диссертацию «Парамагнитная абсорбция в перпендикулярных и параллельных полях для солей, растворов и металлов» и в конце июня направил ее в Москву. «Доцент Казанского Гос. Университета Евгений Константинович Завойский по своей научной квалификации давно уже перерос степень кандидата физико-математических наук, а по своему педагогическому опыту — скром-



*Профилометр Аббота
для усиления сигналов ЭПР.*

*Реконструированная модель
осциллографа, на котором
Евгений Завойский впервые
зафиксировал сигнал ЭПР.*



ное звание доцента, — писал Френкель. — Он является талантливым физиком, с очень большой эрудицией в различных областях экспериментальной и технической физики (особенно в радиофизике и теории колебаний), способным разрешать, подчас при наличии очень ограниченных средств, чрезвычайно сложные экспериментальные проблемы.

О незаурядном экспериментальном искусстве Завойского красноречиво свидетельствует его докторская диссертация, в которой описывается разработанный им метод измерения магнитных потерь путем реакции на генератор высокочастотных колебаний — метод, в сотни раз более чувствительный, чем те, которые применялись ранее, и который позволил автору получить новые чрезвычайно интересные экспериментальные результаты, касающиеся магнитных свойств атомов, ионов и электронов в парамагнитных телах».

В конце декабря 1944 г. исследователя пригласили на сессию Всесоюзного научного совета по радиофизике и радиотехнике при Отделении физико-математических наук АН СССР, проходившую в конференц-зале московского Физического института АН СССР (ФИАН). Однако, по имеющимся документам, участники форума не поняли и не приняли его сообщение о парамагнитной релаксации, аргументируя тем, что «этого не может быть». Тогда директор Института физических проблем АН СССР, лауреат Нобелевской премии 1978 г., академик Петр Капица предложил Евгению Константиновичу провести опыты у него, что тот и сделал перед защитой, состоявшейся 30 января 1945 г. в ФИАНе. Именно эти удачные московские эксперименты, позволившие получить четко идентифицированные линии ЭПР, первыми попали в 1945 г. в печать, поэтому создалось мнение, что Завойский открыл ЭПР в Москве.

Вернувшись в Казань, он продолжил свои исследования. В последней работе этого периода «К теории парамагнитной релаксации в перпендикулярных полях», опубликованной в 1947 г., где анализировались

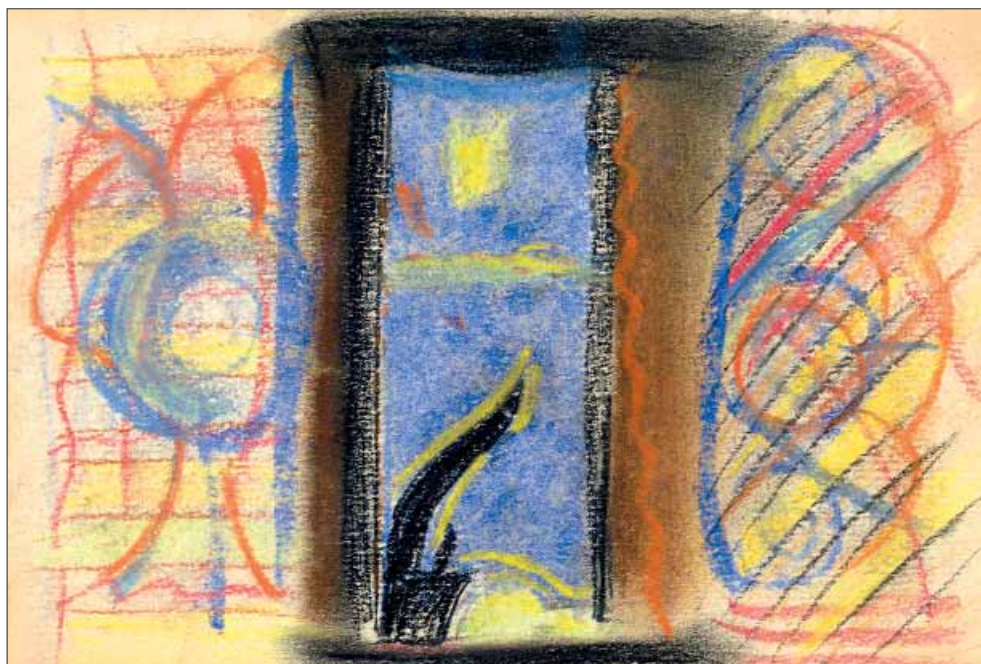
данные для солей Mn^{2+} и Cr^{3+} в кристаллическом состоянии и растворах, полученные на разных частотах, он вместе с Козыревым и Альтшулером пришел к важному заключению: ширина линии парамагнитного резонанса в первую очередь определяется магнитными диполь-дипольными взаимодействиями и может трансформироваться под влиянием обменных сил и расщепления спиновых уровней парамагнитных ионов в электрическом поле окружающих частиц.

В августе 1947 г. Завойского по решению ЦК КПСС направили на постоянную работу в Москву, а затем — в сверхсекретный ядерный центр Арзамас-16* Горьковской области для участия в создании атомного оружия. Но инициированное им направление продолжили его коллеги в Казани. Здесь, в частности, впервые наблюдали парамагнитный резонанс в свободных радикалах, а позднее открыли влияние ядерного спина (количества движения) парамагнитного атома на линии ЭПР.

Осенью 1956 г. Ученый совет Института физических проблем выдвинул работы Завойского 1944–1945 гг. на Ленинскую премию. Представление, подписанное Капицей, завершалось словами: «Открытие парамагнитного резонанса является одной из наиболее круп-

*См.: В. Лукьянов. Саровский «ядерный эрмитаж». — Наука в России, 2009, № 3 (прим. ред.).

Евгений Завойский.
Берегите лес от огня.
Пастель. 1960-е годы.
Музей-лаборатория
Е.К. Завойского.



Евгений Завойский.
Окно. Вечерняя абстракция.
Пастель. 1960-е годы.
Музей-лаборатория
Е.К. Завойского.

ных работ, оказавших существенное влияние на развитие физики послевоенного времени».

22 апреля 1957 г., на следующий день после того, как в печати появилось правительственное сообщение о присуждении премии, Петр Леонидович направил Завойскому телеграмму: «Дорогой Евгений Константинович, сердечно поздравляю с Ленинской премией, отмечающей Ваше крупное открытие, которое должно было получить официальное признание уже много лет

назад. Желаю успехов в работе. Искренне Ваш Капица». Позже Капица писал, что «открытие Завойского с лихвой тянет на Нобелевскую премию». Четверть века спустя, 23 июня 1970 г., открытие внесли в государственный реестр с приоритетом от 12 июля 1944 г. Эту дату и считают официальным «днем рождения» ЭПР. Сейчас эффект широко применяют в физике, химии, медицине и биологии как один из самых распространенных методов исследования вещества.



Евгений Завойский.
Осенний лес. Акварель.
1960-е годы.
Музей-лаборатория
Е.К. Завойского.

К сожалению, оригинальная установка, на которой впервые наблюдались сигналы ЭПР, не сохранилась, поэтому сотрудники музея восстанавливали ее по лабораторным тетрадям и диссертации Завойского. Теперь это один из главных действующих экспонатов, поражающих специалистов своей простотой. Установка состоит из сварочного трансформатора, в цепь которого включены катушка соленоида и амперметр Гартмана-Брауна, автодинного генератора (автоколебательного устройства), усилителя низкой частоты от профилометра Аббота и осциллографа. Исследуемое вещество помещают в катушку индуктивности генератора, затем вводят во внешнее магнитное поле, создаваемое соленоидом. Его электроны «откликаются» поглощением энергии только свойственной им частоты. Полученный сигнал подается на усилитель и далее на осциллограф.

Нельзя не упомянуть еще об одной особенности личности Завойского, проявившейся уже в зрелые годы, когда он стал академиком, — о страсти к рисованию. По признанию самого Евгения Константиновича, он всегда любил наблюдать за игрой света и тени от предметов, за их причудливым и безмолвным движением, ему нравилось изображать тени, отбрасываемые настольной лампой. Тринадцать его акварельных и пастельных работ и рисунков, составляющих значимую часть коллекции, характеризуют ученого как тонкого, глубоко чувствующего многообразие мира человека.

Наш музей профильный, он привлекает внимание посетителей, интересующихся главным образом историей физики. Его хорошо знают отечественные и зарубежные специалисты. Здесь бывали ученые с мировыми именами: автор полуфеноменологической теории сверхпроводимости, лауреат Нобелевской премии 2003 г., академик Виталий Гинзбург (Россия), автор от-

крытия сверхпроводимости в керамических материалах, лауреат Нобелевской премии 1987 г., иностранный член РАН с 1994 г. Карл Алекс Мюллер (Швейцария), один из столпов в области изучения биологических систем с помощью радиоспектроскопических методов, президент-основатель Европейского общества ЭПР Клаус Мёбиус (Германия). Постоянные гости лаборатории — студенты, аспиранты Казанского университета. Для них Евгений Константинович — лучший пример вдохновенного и изобретательного ученого, в тяжелейших условиях военного времени открывшего фундаментальное явление, имеющее эпохальное значение для физики и всех естественных наук.

И последнее. С 1991 г. в столице Татарстана проходит вручение Международной премии имени Е.К. Завойского за научные достижения в области магнитного резонанса, учрежденной Казанским университетом, Казанским физико-техническим институтом, Академией наук Татарстана и издательством «Шпрингер-Ферлаг» (г. Вена — г. Нью-Йорк). По традиции ее обладатели посещают наш Музей-лабораторию. Одна из записей, оставленных в Книге почетных гостей лауреатом премии Е.К. Завойского Клаусом Мёбиусом (1994 г.), директором Института исследования полимеров им. Макса Планка (г. Майнц, Германия) Хансом Вольфгангом Шписсом (2010 г.), а также представителями американских университетов Алабамы и Аризоны, заканчивается словами: «Экспонаты напоминают нам о том, что научное знание и вдохновение движут технологиями!».

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 11-06-00251-а.

Иллюстрации предоставлены автором