

ПРИРОДА

10 04



В НОМЕРЕ:**3 Акифьев А.П.**
Избыточная ДНК — генетическая квадратура круга?

Роль такой ДНК — одна из главных тайн эволюции и весьма трудная проблема эволюционной генетики высших организмов. Правда, по результатам наблюдений конкретного клеточного процесса и некоторых экспериментов можно попытаться объяснить, зачем нужна эта ДНК.

Лекторий**12 Звездин А.К.**
Квантовая механика плененных фотонов

Оптические микрорезонаторы, волноводы, фотонные кристаллы

Фотон привычно считать свободной частицей, и, казалось бы, управлять его энергетическим спектром, как это удается для электрона, невозможно. Однако новые оптические материалы — фотонные кристаллы — позволяют делать это.

23 Родников А.Г., Сергеева Н.А., Забаринская Л.П.**Глубинные причины образования осадочных бассейнов**

Между глубинным строением верхней мантии и строением поверхностных геологических структур отмечается определенное соотношение. Чем выше уровень залегания астеносферы, тем большая плотность теплового потока и более молодой возраст формирования глубоководных осадочных впадин.

33 Боринская С.А.
Генетическое разнообразие народов

Успехи геномных исследований позволяют понять молекулярные основы влияния наследственности на здоровье человека и его происхождение как биологического вида, помогают реконструировать историю формирования народов и подчеркивают эволюционную ценность разнообразия человечества.

39 Фащук Д.Я.
В погоне за «желтым дьяволом»

С конца XV в. и до начала XXI количество добытого золота составило около 110 тыс. т, а разведанные на сегодняшний день общие мировые запасы оцениваются еще в 120—150 тыс. т.

46 Очев В.Г., Иванов А.В., Архангельский М.С.
Гастролиты ископаемых**50 Павлович Н.А.**
Когда Заволочье стало Русским Севером

Старинные карты позволяют отчасти восполнить пробел в истории географических открытий Русского Севера.

Биография современника**57 Баскин Л.М.**
Русский путь Терье Скугланда**65 СИМВОЛ ВОЗРОЖДЕНИЯ ПОРУГАННОЙ ГЕНЕТИКИ**

К 100-летию Бориса Львовича Астаурова

Автобиография (66)**Астауров Б.Л.****Рождение института (69)****Корочкин Л.И.****Мудрость и такт (76)****80 Новости науки**

Что происходит в миллиардах световых лет от нас? (80). Что случилось с Солнцем? (80). Антиматерия: обнаружить и изучить (81). Облако Оорта стало видимым (82). У Марса ядро жидкое? (82). Конкурс русских инноваций (83). В нанотрубках имоголита можно хранить природный газ (84). Электронная голография кристаллов (84). Красный пот гиппопотамов (85). Зачем казуару гребень? (85). Международные исследования в Антарктиде (85). Показатели холодного времени года в Москве (86). Морской планктон — над Великими равнинами (87). Геоботаническая карта Арктики (87). Ископаемые эмбрионы: в поисках родителей. Петров П.Н. (87). Неандертальцы нам не предки (88). «И вечный бой...» (88). Когда разошлись индоевропейские языки? (88).

Коротко (45)

Рецензии**89 Чернова Н.М.**
Профессора дореволюционной России**92 Новые книги****Резонанс****93 Никонов А.А.**
«Русалка» найдена!

CONTENTS:

3 Akif'ev A.P. Redundant DNA – Unresolved Puzzle of Genetics?

The function of this DNA is one of the most intriguing riddles of evolution theory and a rather challenging problem in evolutionary genetics of higher organisms. But results of some experiments and observations of a certain cellular process can provide a possible explanation for evolutionary role of this DNA.

Lectures

12 Zvezdin A.K. Quantum Mechanics of the Trapped Photons Optical Microresonators, Wave Channels and Photonic Crystals

Photons are generally believed to be free particles, and it seems impossible to modulate their energy spectrum as is routinely done with electrons. But the new optical materials – photonic crystals – allow to do so.

23 Rodnikov A.G., Sergeeva N.A., Zabarinskaya L.P. Deep Causes of Sedimentary Basins Formation

There is a certain correspondence between deep structure of upper mantle and associated geological formations of the ocean crust. Younger deep-water sedimentary depressions are usually formed in regions with higher heat flux density and higher elevation of asthenosphere boundary.

33 Borinskaya S.A. Genetic Diversity of Peoples

Advances of genomic studies provide an understanding of molecular basis for role of inheritance in human health and of origin of human as a biological species. They help to reconstruct the history of peoples formation and highlight the evolutionary value of diversity of humanity.

39 Fachshuk D.Ya. Racing for «Yellow Devil»

World-wide extraction of gold since the end of 15 century up to the beginning of 21 century amounted to 110 thousand tons, while total explored world's gold deposits are now estimated to be 120–150 thousand tons.

46 Ochev V.G., Ivanov A.V., Archangelsky M.S. Gastrolites of Fossil Animals

43 Pavlovich N.A. When Zavoloch'e Became Russian North

Ancient maps allow to bridge a gap in the history of geographic discoveries of the Russian North.

Biography of Our Contemporary

57 Baskin L.M. Russian Pathway of Terje Skugland

65 SYMBOL OF REBIRTH OF DESECRATED GENETICS

To the Centenary of B.L.Astaurov

Autobiography (66)

Astaurov B.L.

The Birth of Institute (69)

Korochkin L.I.

Wisdom and Tact (76)

80 Science News

What Takes Place Billions Light Years Away from Us? (80). What Has Happened to the Sun? (80). Antimatter: Discover and Explore (81). Oort's Cloud Became Visible (82). Martian Core Is Liquid? (82). Russian Innovations Contest (83). Natural Gas Can Be Stored in Nanotubes of Imogolite (84). Electronic Holography of Crystals (84). Red Sweat of Hippopotams (85). Cassowary Crest Comb: What for? (85). International Research in Antarctica (85). Cold Season Indexes in Moscow (86). Ocean Plankton over Great Plains (87). Botanical Map of Arctic (86). Fossilized Embryos: Searching for Parents. Petrov P.N. (87). Neanderthal Men Are Not Our Ancestors (88). «And Battle is Perpetual...» (88). When Indo-European Languages Began to Diverge? (88). In Brief (45)

Book Reviews

89 Chernova N.M. Professors of Pre-revolutionary Russia

92 New Books

Resonance

93 Nikonov A.A. «Rusalka» Was Found!

Избыточная ДНК — генетическая квадратура круга?

А.П.Акифьев

Главный парадокс генома высших эукариот

Многие биологи полагают, что понять истинный смысл структур и функций систем живых клеток и организмов можно только изучив причины и способ возникновения их в эволюции. В середине XX в., так же как и во времена Ч.Дарвина, в учебниках биологии схематически изображалось развитие жизни на Земле в виде эволюционного древа. В его подножии находились простые и, как думали, самые древние организмы, а на вершине непременно располагался человек. Поэтому была вполне естественной точка зрения, согласно которой у *Homo sapiens* должно быть наибольшее число генов. А поскольку генетический материал — это ДНК, то следовало ожидать, что и по ее количеству человек непременно должен быть рекордсменом среди форм той единственной белково-нуклеиновой жизни, которая существует на Земле (а может быть, и вообще в Космосе).

Однако еще в конце 40-х — начале 50-х годов (т.е. до создания модели двойной спирали) ученые, в частности американские биохимик А.Мирский и ци-



Алексей Павлович Акифьев, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель группы мутагенеза Института общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН, профессор кафедры биофизики Государственного университета «Дубна». Научные интересы связаны с эволюцией генетической организации эукариот; механизмами структурных мутаций; генетикой старения (причиной бессмертия половых клеток); евгеникой.

Автор трех монографий, в том числе научно-просветительской книги «Генетика и судьбы» (М., 2001) и учебника для вузов «Общая генетика» (в соавторстве с С.И.Алиханьяном и Л.С.Черниным). В «Природе» опубликовал статью «Молчащая ДНК и ее роль в эволюции» (1974. №9).

толог Х.Рис, абсолютно четко доказали, что стоящий на вершине эволюции вид *H.sapiens* обладает не самым крупным геномом [1]. (Геном — это количество ДНК, содержащееся в гаплоидном, одинарном, наборе хромосом.) Если соединить конец в конец 23 молекулы ДНК, составляющих гаплоидный набор человека, получится нить длиной около 1 м. (Длина ДНК самой крупной первой хромосомы человека составляет около 7.5 см.) Но геномы саламандры и лилии почти в 30 раз превышают размер человеческого генома. Налицо полный крах представлений о соответствии

сложности организма и величины его генома. Это явление, даже получившее собственное название — парадокс размера генома (C-value paradox), до сих пор не объяснено. Нет ответа и на такие вопросы, как: почему весьма мало различаются размеры генома человека и мыши; почему геномы хвостатых амфибий варьируют в пределах двух порядков, а бесхвостых — довольно близко по размерам.

В настоящее время расшифрованы полные геномы (т.е. нуклеотидные последовательности ядерной ДНК) нескольких организмов, в том числе, разумеется, и человека. Оказалось, что

в сумме его гены вместе с регуляторными участками едва ли превышают 3–5% всего генома. О назначении остальной ДНК сегодня, как и 50 лет назад, мы фактически ничего не знаем и не понимаем ни ее эволюционной роли, ни механизма происхождения. Конечно, можно формально допустить, что в ходе эволюции размер генома сменяющих друг друга видов не оставался постоянным. Но каким образом геномы могли быстро увеличиваться и, что более загадочно, столь же стремительно уменьшаться?

По отношению к геномному парадоксу в англоязычной научной литературе часто используются термины «enigma» и «puzzle». Оба они означают «загадочный», но второй термин можно перевести и как «головоломка» и даже «неразрешимый вопрос». То и другое не противоречит смыслу парадокса. К нему вполне применимо также древнее понятие «квадратура круга» (но только генетическая), поскольку задача как таковая существует, но пути ее решения традиционными способами не просматриваются.

Биологическая роль избыточной ДНК остается одной из главных тайн эволюции и, вероятно, наиболее трудной проблемой эволюционной генетики высших организмов. Тем не менее уже есть некоторые экспериментальные результаты и наблюдения конкретных клеточных процессов, на основе которых можно попытаться объяснить геномный парадокс. Об этом и пойдет речь.

Основные гипотезы

О биологической роли избыточной ДНК высказано не менее 15 гипотез. В первых из них (это версии Х.Кэллана, Х.Уайтхауза, Ч.Томаса, Р.Бриттена, Э.Дэвидсона, Г.П.Георгиева, Ф.Крика, П.Цукеркандла) фактически отрицалось наличие у такой ДНК неизвестных биологических функ-

ций. К излишку генома относили либо многократно повторенные гены (такие есть, но их очень немного), либо регуляторные зоны генетических единиц, подобные оперонам у бактерий. Однако уже в 60–70-х годах XX в. сопоставление известных фактов привело к заключению, что избыточная ДНК не выполняет ни кодирующих, ни регуляторных функций.

Гипотезу, не похожую ни на одну из упомянутых, предложил шведский биолог Эдстрем. По его мнению, избыточная ДНК представляет собой содержимое гипотетического «эволюционного котла», в котором созревают новые структурные гены и новые регуляторные последовательности. Мысль эта не нова и имеет под собой некоторые основания. О них говорил еще в 20-е годы необыкновенно плодовитый на различные идеи русский генетик А.С.Серебровский. Действительно, новый ген не способен образоваться путем мутационной перестройки старого, если тот присутствует в единственном экземпляре. Если же существует избыток генетического материала в виде удвоенных (дублированных) генов, то один из них может и не функционировать, но в нем будут как бы тайно накапливаться мутации. Постепенно он преобразуется в новый ген, и когда в клетке создадутся условия для его работы, возникнет новый генный продукт, а следовательно, новый признак [2].

Итак, ни одна версия не была подтверждена. Но вот стало известно, что гены эукариот (некоторых архебактерий, а также зубактерий, которым несвойственна морфологическая эволюция, подобная эукариотической) состоят из экзонов (кодирующих участков) и интронов (некодирующих); что с каждого такого гена с помощью специального механизма — альтернативного сплайсинга — могут считываться несколько разных матричных РНК, а значит, синтезироваться несколько белков;

что широко распространена транспозиция — перемещение мобильных элементов в геноме. Казалось бы, идея об избыточной ДНК как о сыром эволюционном материале с этими открытиями должна стать на твердую почву. Но ничего похожего не произошло. Дело в том, что львиная доля избыточной ДНК у большинства видов устроена по типу чередования (интерсперсии) некодирующих последовательностей — уникальных и повторяющихся. У человека такая часть генома занимает не менее 50%. У других видов содержание может отличаться, как и размеры чередующихся участков, причем какой-либо отчетливой закономерности не заметно. У морского ежа, африканской шпорцевой лягушки, человека и многих других видов короткие повторы в основном состоят примерно из 300 пар нуклеотидов, а уникальные последовательности из 1,5 тыс. У дрозофилы, рептилий, птиц намного длиннее и повторы (примерно 2000 пар нуклеотидов), и уникальные последовательности (5–10 тыс.). У двух видов плодовой мушки (*D.melanogaster* и *D.virilis*) типы повторов отличаются. А некодирующая часть генома шелкопряда больше похожа по параметрам чередования на геном человека, чем на геном *D.melanogaster*, хотя шелкопряд и дрозофила принадлежат к отряду чешуекрылых насекомых, а человек — к отряду приматов, высших млекопитающих. Это еще одна загадка, по сути, вероятно, тесно связанная с геномным парадоксом, и головоломка для исследователей, пытающихся найти функцию «лишней» ДНК исходя из традиционных представлений.

Скепсис в отношении разгадки геномного парадокса в начале 80-х годов достиг апогея. Может быть, именно потому появились гипотезы, согласно которым избыточная ДНК представляет собой «эгоистическую», «паразитическую» или даже «му-

сорную» часть генома. Последний термин используется и сейчас, после расшифровки геномов человека, дрозофилы и других видов эукариот, не внесшей никакой ясности в объяснение парадокса. Между тем найти точные молекулярные характеристики «мусорной» ДНК в литературе просто невозможно. Мне представляется (в качестве рабочей гипотезы), что такая ДНК может иметь любую структуру, не содержащую последовательностей, которые способны блокировать репликацию ДНК. Впрочем, мусор в бытовом смысле — это то, что надлежит удалить, от чего необходимо избавиться. Но геномный «мусор» существует и, видимо, столько же, сколько существует вид. Более того, в гомологичных хромосомах «мусор» должен быть довольно сходным, чтобы не препятствовать их синапсису в мейозе, иначе гибридам придется расплачиваться стерильностью из-за различий в «мусорной» части генома. Это обстоятельство налагает сильные ограничения на мутационную дивергенцию «мусорной» ДНК.

Нельзя не упомянуть, пожалуй, еще одно соображение, касающееся роли избыточной ДНК, высказанное в 80-х годах английским ученым Т.Кавалье-Смитом [3]. Он обратил внимание на то, что некодирующие последовательности могут служить основой ядерного скелета, вокруг которого происходит сборка ядра. Это значит, что общее количество ДНК должно влиять на размеры ядра, клетки, скорость репликации и, в конечном счете, на размер тела и скорость развития организма. Таким образом, величина некодирующей части генома может оказаться под действием селективных факторов. Может быть, иногда это и так, особенно у некоторых растений. Но если сравнить, например, человека и мышь, геномы которых, как и доля некодирующих последовательностей в них, почти одинаковы, то без дальнейших обсуждений становится

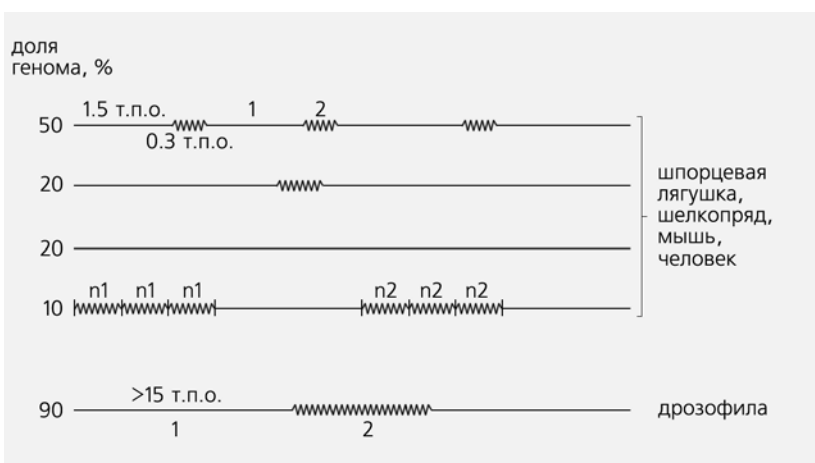


Схема двух типов чередования нуклеотидных последовательностей разной степени повторяемости. Видно, что у шпорцевой лягушки, шелкопряда, мыши и человека некодирующие участки устроены сходным образом и повторы разной длины чередуются одинаково, только у дрозофилы чередование иное. 1 — уникальные последовательности, 2 — диспергированные повторяющиеся участки, n1 и n2 — короткие повторы; т.п.о. — тыс. пар оснований.

ясно, что гипотеза Кавалье-Смита и его последователей не может служить исчерпывающим объяснением геномного парадокса эукариот. Кроме того, она не объясняет сам механизм, который обеспечивал бы разное содержание ДНК.

Диминуция хроматина — ключ к решению геномного парадокса?

Эфемерность многочисленных гипотез о биологической роли избыточной ДНК, скорее всего, обусловлена тем, что ни одна из них не опиралась на конкретный клеточный процесс. А ведь только на его основе можно найти хотя бы какие-то ответы на вопросы и определить направление дальнейших поисков. Полагаю, что такой процесс есть, более того, он известен очень давно. Это диминуция (уменьшение) хроматина, открытая выдающимся немецким биологом Т.Бовери в 1887 г. у аскариды: на самых ранних этапах развития из зародыше-

вых клеток, которые потом станут соматическими, выбрасывается та или иная часть генетического материала. Надо сказать, что диминуция хроматина довольно редка, тем не менее сегодня она известна не только у аскарид, а еще у циклопов, миксин, сциарид.

Решающий вклад в открытие и детальное изучение диминуции хроматина у простейших внес Д.Прескотт [4, 5]. В начале 70-х годов прошлого века американский ученый выявил этот феномен у брюхохоресничных инфузорий при созревании вегетативных (т.е. выполняющих соматические функции) ядер — макронуклеусов. У представителей родов *Stylonychia*, *Oxytricha*, *Euplotes* эти ядра в процессе созревания теряют 96–98% нуклеотидных последовательностей, которые в генеративном ядре, макронуклеусе (аналоге клеточного зародышевого пути у многоклеточных животных), сохраняются. Во время диминуции хроматина макронуклеус претерпевают фантастические изменения — попросту распадаются на отдельные гены, которые затем

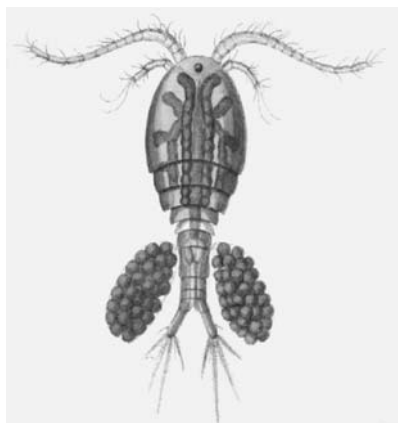


Схема строения самки веслоногого рачка циклопа. Яйцевые мешки, которые выходят из тела самки сразу после оплодотворения, содержат по 30—40 зародышей (на рисунке они похожи на шарики), в их соматических клетках на ранней стадии дробления и происходит диминутция хроматина.

многократно копируются (амплифицируются), а некодирующие последовательности выбрасываются из ядра. Макронуклеус, оставшийся без «классических» хромосом, теряет способность делиться митозом и переходит к амитозу (прямому делению ядра перетяжкой). Митоз, который гарантирует получение дочерними клетками идентичного материнского набора единиц наследственной информации, перестает быть нужным, так как и при делении амитозом за счет большого избытка копий все гены сохраняются у клеточных потомков.

Столь колоссальная реорганизация генома у инфузорий казалась неким маргинальным событием, тупиком эволюции, не позволяющим делать эволюционные выводы о биологической роли избыточной ДНК.

С такой оценкой феномена геномной реорганизации у простейших мы с сотрудниками лаборатории в принципе не согласны. Поэтому продолжаем изучать диминутцию и ее роль, а объектами исследований нам

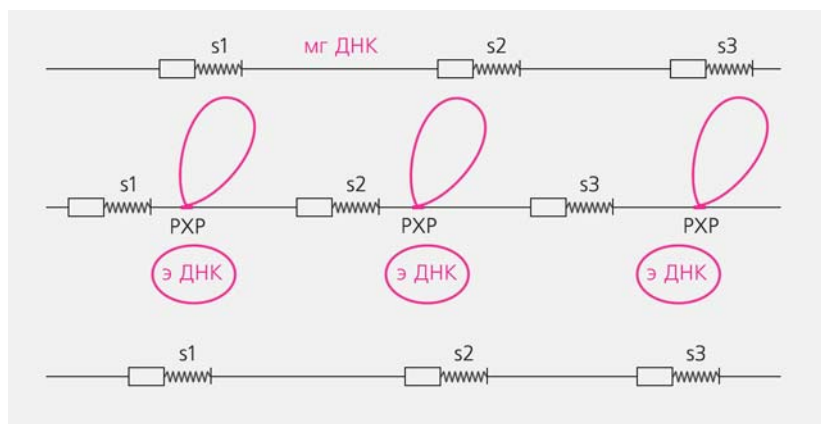


Схема диминутции хроматина у циклопов. Сверху вниз: хромосома до начала диминутции (такова же и хромосома клеток зародышевого пути), во время диминутции, когда участки межгенной ДНК выпетливаются, и по окончании процесса: образовавшиеся на предыдущей стадии петли, вырезанные из хромосомы, превратились в кольца (масштаб не соблюден) [11]. S1, S2, S3 — структурные гены; перед ними в виде прямоугольников показаны регуляторные участки; мгДНК — межгенная ДНК, РХР — районы хромосомных разрывов.

служат типичные многоклеточные животные — веслоногие рачки циклопы [2, 6—9].

Мы не были первыми в изучении диминутции хроматина у циклопов. С.Берман это сделала еще в середине 60-х годов [10]. Немецкая исследовательница обратила внимание на то, что число хромосом у тех трех видов циклопов, с которыми она работала, было одинаковым как до диминутции, так и после нее. Конечно, за счет этого события размеры хромосом уменьшались в зависимости от доли потерянной ДНК. Берман предложила молекулярную модель диминутции: избыточная ДНК выводится из хромосом подобно тому, как профаг исключается из хромосом лизогенных бактерий, т.е. путем выпетливания и внутрихроматидной рекомбинации с образованием колец из ДНК. Кольца Берман и обнаружила при электронно-микроскопическом исследовании разрушенных клеток циклопов в стадии диминутции [11]. К сожалению, работы Берман превратились в 1984 г.

Сотрудник нашей лаборатории А.К.Гришанин обнаружил, что у рачка *Cyclops kolensis* в процессе диминутции из соматических клеток зародыша элиминируется рекордное для многоклеточных количество ДНК — 94% [7]. Это совсем ненамного меньше, чем у абсолютных рекордсменов — брюхохоресничных инфузорий. Однако потеря огромной части ДНК не сказывается на числе хромосом: оно остается постоянным и равным 22 (столько же и в клетках зародышевого пути). Поразительно, как в одном организме циклопа могут одновременно существовать два типа клеток со столь разным содержанием ДНК!

Какие же наиболее важные выводы, касающиеся роли избыточной ДНК, можно сделать из исследования диминутции хромосом у циклопов?

Во-первых, для дифференцировки, гистогенеза и в целом построения всего тела *C.kolensis* достаточно лишь 6% хромосомной ДНК соматических клеток. Отсюда следует, что 94% их ДНК не содержат ни генов, ни регу-

ляторных последовательностей, которые необходимы для индивидуального развития данного вида.

Во-вторых, диминуция хроматина количественно строго повторяется во время каждого цикла репродукции рачка (мы наблюдали это в течение более чем 10 лет). Такое повторение возможно лишь в том случае, если ДНК клеток зародышевого пути, не затронутая диминуцией, сохраняется столько времени, сколько существует вид. Иначе в соматических клетках никакого избавления от избыточной ДНК не происходило бы. Эти выводы — не результат косвенных умозаключений, они основаны на наблюдениях природного процесса.

Следовательно, ДНК, выводимая из хромосом во время диминуции, не может считаться «мусорной». Более того, даже избыточна она только для соматических клеток, но не для клеток зародышевого пути. Несомненно, что и функции избыточной ДНК надо искать именно в линии зародышевых клеток. Попытаемся это сделать, но прежде о самом процессе диминуции. Большинство биологов, видимо, знают лишь его конечный результат, т.е. что в соматических клетках ДНК меньше, чем в половых. В действительности диминуция — весьма сложный, многоэтапный процесс, который Дж.Шапино справедливо отнес к наиболее ярким примерам природной генной инженерии [12]. Главное заключение, которое следует из феномена диминуции, очевидно: гены, участвующие в индивидуальном развитии, и обслуживающие их регуляторные участки ни в коем случае не должны быть ни потеряны, ни даже повреждены.

Разрезают и шивают хромосомную ДНК ферменты диминуции. Они безошибочно осуществляют свои функции, поскольку места разрывов весьма точно помечены, т.е. участки ДНК заранее подготовлены. По масштабности и точности манипу-

ляций, которые производят клеточные ферменты в ходе диминуции, подобная генно-инженерная операция пока недоступна исследователям, работающим в самой современной лаборатории.

Что же произойдет, если ошибки все же возникнут? Летальные события: при повреждении гена эмбриональное развитие остановится тогда, когда наступит время функционирования этого гена. Примечательно, что диминуция происходит очень рано: у *C.kolensis*, например, на четвертом делении дробления, т.е. на 8-клеточной стадии, причем лишь в семи клетках, а восьмая, дающая начало зародышевой линии, остается с исходными хромосомами. (У рачка *C.strenuus strenuus* Гришанин наблюдал диминуцию, проходящую в два этапа — на пятом делении удаляется 40% ДНК, на следующем еще 35%. Есть и другие виды с подобной двухэтапной диминуцией.)

Второй вариант ошибочного разрезания — хромосомные перестройки. Это тоже летальные события. Однако, по нашим данным, число спонтанных хромосомных перестроек в раннем развитии циклопов поразительно мало [8]: примерно в 100 раз меньше, чем у такого классического объекта для тестирования хромосомного мутагенеза, как лимфоциты человека. Этот факт свидетельствует о наличии мощной защитной системы против мутаций, действующей по крайней мере тогда, когда в клетке высока активность ферментов диминуции. Они должны атаковать только предназначенные для этого районы ДНК, иначе могут появиться поврежденные участки, которые окажутся чувствительными к таким ферментам и будут ими разрезаны. Следовательно, подобная возможность, грозящая катастрофическими последствиями, должна быть сведена до минимума.

А если бы диминуции подверглась та единственная клетка, которая предназначена для разви-

тия зародышевой линии? Тогда опасность таилась бы не для особи, а для вида, поскольку исключительно высока, почти неизбежна, стерильность индивида, у которого произошла подобная незапрограммированная потеря генетического материала.

Что находится в гранулах?

У *C.kolensis* вырезанные из хромосом участки ДНК собираются в гранулы, окруженные уникальной — плотной и без пор — мембраной [9]. Их содержимое, как мы полагаем, и есть избыточная ДНК, которая создаст парадокс размера генома у эукариот. Клеточные механизмы отличают эту ДНК от той, что содержится в хромосомах клеток зародышевого пути и не должна быть потеряна, пока существует данный вид.

Итак, мы с коллегами убедились, что у циклопов во время раннего эмбриогенеза из соматических клеток удаляется и сосредоточивается в специфических гранулах большая часть ДНК. Но связаны ли с ней какие-либо функции, мы не знали, их предстояло изучить. Мы начали с исследования содержимого гранул (т.е. элиминируемой ДНК) методами геномики и протеомики [13]. В этой работе принимала участие группа новосибирских ученых из Института цитологии и генетики СО РАН, которую возглавлял И.Ф.Жимухов. Приятно назвать имена наших коллег: Н.Б.Рубцов, Т.В.Бойкова, С.Н.Белякин, Т.Карамышева. Существенную помощь нам оказал также английский генетик М.Ашбернер из Кэмбриджа.

Объектом совместных исследований стал все тот же рачок *C.kolensis*. Гранулы с элиминированной ДНК, образовавшиеся во время четвертого деления дробления, были извлечены из клеток с помощью микроманипулятора, а полученные затем индивидуальные фрагменты ДНК клонированы. Нуклеотид-

ная последовательность, установленная в каждом из них, подверглась компьютерному анализу, и в результате выяснилось, что геномных участков в них нет. Иного мы и не ожидали. Вся та ДНК, которую мы изучали, по старой терминологии должна быть отнесена к «мусорной».

Однако по результатам анализа индивидуальных фрагментов и их сравнения между собой вырисовывалась другая картина, далеко не та, что соответствует концепции молекулярного «мусора» [14]. Набор фрагментов представлял собой вовсе не «свалку» случайных нуклеотидных последовательностей.

В индивидуальных фрагментах, длина которых составляла 400–500 пар нуклеотидов, содержались относительно небольшие повторы — до 34 нуклеотидных пар (повторы менее семи пар не учитывались, поскольку они могли возникнуть случайно). Многие повторы характеризовались высокой степенью гомологии, а некоторые оказались абсолютно идентичными.

Мы не исключали, что сходные по последовательности участки одного клонированного фрагмента найдутся и в других. Всего их было 52, и вместе они составляли примерно 32 тыс. нуклеотидных пар. Оригинальный поиск копий среди такого множества выполнил Дегтярев с коллегами [14].

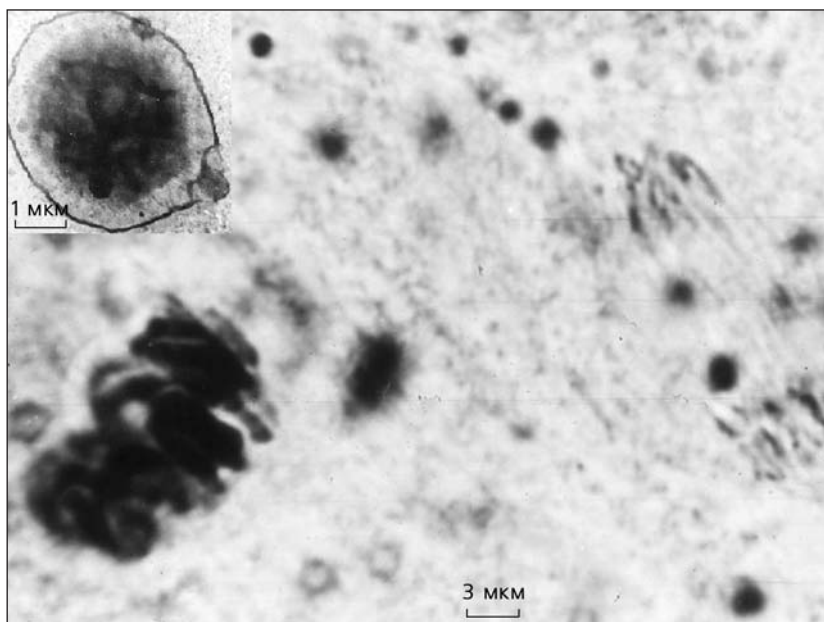
Поиски дали замечательный результат: в исходных фрагментах появились новые, более длинные повторы, содержащие до 296 пар нуклеотидов. Такая метаморфоза могла произойти лишь в том случае, если эти копии последовательностей состояли из более мелких повторов (субповторов), идентифицированных нами в индивидуальных фрагментах и разбросанных по геному. Следовательно, структура длинных повторов мозаична. Различия же в их нуклеотидной последовательности оказались весьма незначительными. Более того, один из самых протяженных субповторов — в 57 пар нуклеотидов — присутствовал в виде точных

копий везде, где бы его ни обнаруживали.

Мозаичность структуры отдельных отрезков элиминированной ДНК и высокая степень гомологии повторяющихся последовательностей наводят на мысль, что к качественным изменениям, которые должен непрерывно генерировать все сильный мутационный процесс, «мусорная» часть генома удивительно устойчива.

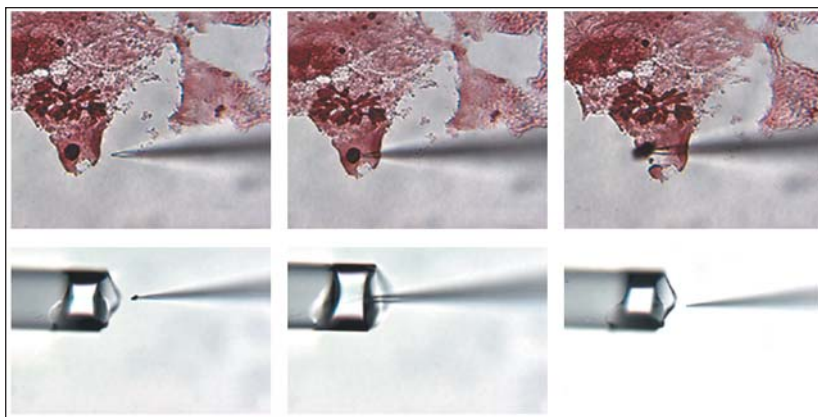
Каким образом могут возникнуть последовательности с высокой степенью гомологии? Их образование относят на счет концертной эволюции и рассматривают обычно две причины, ведущие к ней. Первая — недавнее происхождение повторов от общей предковой последовательности: просто не хватило времени на то, чтобы в немногих поколениях накопились мутации и в результате утратилось сходство. Вторая причина — рекомбинации: если гомологичные участки расположены в ядре клетки так, что между ними возможны эти процессы, при определенных обстоятельствах вновь возникающие мутации будут уничтожаться, т.е. гомологи сохранятся [15].

Какая из этих причин способна привести к высокой степени гомологии повторов в избыточной ДНК при том, что любому виду свойственны постоянно протекающие локальные геномные перестройки? Такие реорганизации генома у видов с диминуцией в состоянии изменить саму структуру районов, где обязан происходить разрыв хромосом. У *C.kolensis*, например, подобных районов должно быть не менее 10 тыс., как показывают наши расчеты. Геномные перестройки могут привести к таким изменениям сигнальных участков для диминуции, что их перестанут узнавать ферменты. А за этим последует гибель организма на ранней стадии развития. Возможно, подобные перестройки создадут область разрыва совсем не в том месте, где она должна распо-

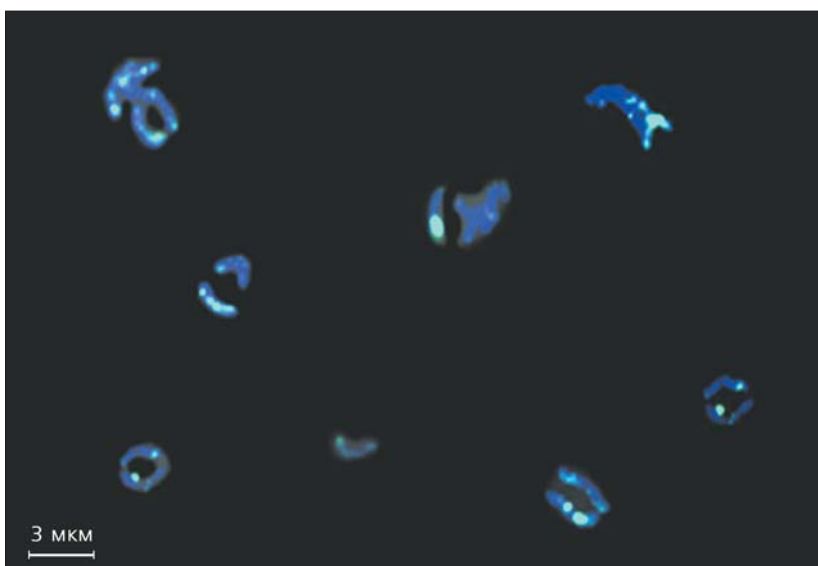


Микрофотография хромосом *Cyclops kolensis* в клетке зародышевого пути (внизу слева) и в анафазе соматических клеток (справа) во время диминуционного деления. На врезке показана гранула с элиминированной ДНК. Видно, что гранула окружена плотной однослойной мембраной, лишенной пор.

Удаление гранул элиминированного хроматина во время пятого деления дробления при помощи микроманипулятора.

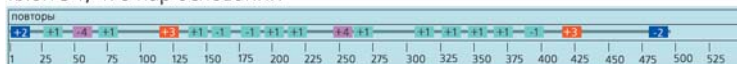


Гибридизация *in situ* клонов, полученных из элиминированной ДНК циклопа, с хромосомами, еще не подвергшимися диминуции. Светлоокрашенные участки — места, где расположена элиминированная ДНК.



Пример повторяющихся последовательностей внутри каждого из пяти приведенных фрагментов элиминированной ДНК *Cyclops kolensis*. Гомологичные повторы в конкретном фрагменте показаны одним цветом, в разных фрагментах одинаковая окраска не означает гомологии. Цифры внутри блоков — номера повторов, знаком перед цифрой отмечена их ориентация — прямая (+) или обратная (-). Числа на шкале отражают количество пар оснований.

клон 94, 470 пар оснований



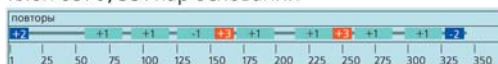
клон 133, 478 пар оснований



клон 55, 537 пар оснований



клон 6970, 331 пар оснований



клон 37, 566 пар оснований



ГЕНЕТИКА

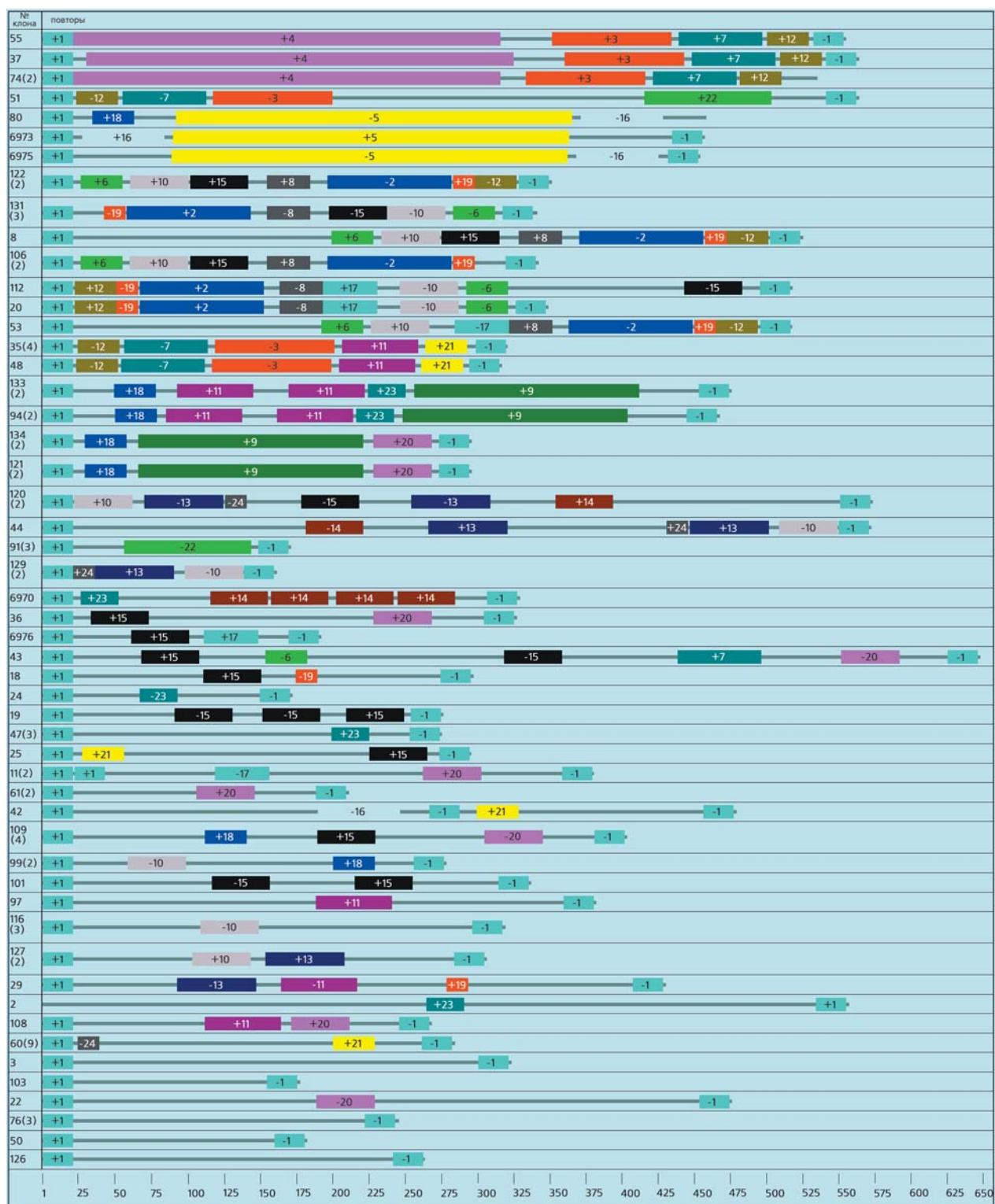


Схема расположения повторов в разных фрагментах элиминированной ДНК *Cyclops kolensis*. Повторяющиеся последовательности принадлежат 24 семействам, их номера указаны числами, знаком «+» отмечена прямая ориентация повтора, знаком «-» — обратная. В первом столбце — номера клонов. Шкала градуирована по количеству пар нуклеотидов. Праймерные последовательности, необходимые для клонирования, обозначены цифрой 1.

гаться в норме. Тогда ферменты диминуции произведут ошибочные операции, что вызовет в итоге гибель всех потомков мутантной клетки. Поэтому нам представляется более предпочтительным механизм концертной эволюции генома циклопов через консервацию повторов за счет рекомбинаций.

Наши данные по молекулярной структуре элиминируемой ДНК, полученные, кстати, впервые, все же следует считать предварительными. Тем не менее они довольно ясно указывают на высокую степень упорядоченности организации той части генома циклопа, которая изымается при диминуции и которая могла бы считаться образцом молекулярного «мусора».

* * *

Каково же значение избыточной ДНК? Наличие этой ДНК в клетках зародышевого пути создает уникальный геномный портрет вида и, следовательно, может служить надежным механизмом его генетической изоляции [6, 16]. Если бы такой портрет не сохранялся в ряду поколений, синапсис гомологичных хромосом в мейозе нарушался бы, и потомство становилось анеуплоидным (т.е. с некратным гаплоидному числом хромосом), без каких-либо шансов на выживание.

Осталось коснуться проблемы, которая связана с колебаниями размеров генома в эволюции. Благодаря чему может быстро уменьшаться размер генома? Мы полагаем, что объяснением этого наиболее трудного аспекта эволюционной проблемы служит диминуция хроматина [17]. Если изъятию подвергнется ДНК клетки-родоначальницы зародышевого пути и процесс не будет сопровождаться летальным событием, поскольку коснется лишь некодирующей ДНК, то все гаметы данного организма окажутся обладательницами нового — редуцированного — генома. Его получат сразу многие десятки особей, а это может быстро создать изолированную группу.

И еще об одном нельзя не сказать. Неужели циклопы, чей онтогенез сопровождается диминуцией хроматина, так сильно отличаются от других животных, у которых нет такого же способа физически исключить избыточную для соматических клеток часть генома? Едва ли это можно утверждать. У других видов существуют иные способы инактивировать, т.е. в конечном счете заставить замолчать, эту ДНК. Известно, что у человека около 50% генома вообще не участвует в экспрессии. Целые районы генома оказываются недоступными для транскрипции

чаще всего из-за сверхкомпактной укладки участков хромосом. Способ другой, но результат тот же — изоляция участков генома.

Тут уместно вспомнить слова знаменитого П.Тейяра де Шардена из его книги «Феномен человека» (1965): «Природная аномалия — это всегда лишь увеличение до осязаемости какого-либо свойства, всюду распространенного в неосозаемом виде. Какой-либо феномен, точно установленный хотя бы в одном месте, в силу фундаментального единства мира имеет повсеместные корни и всеобщее значение». Разве диминуция хроматина не относится к числу твердо установленных феноменов? Ведь она протекает на глазах исследователей!

Современный этап в изучении диминуции еще только начинается, хотя известно о ней было давно, а 30 лет назад уже делались предположения о роли избыточной ДНК [2]. Сейчас стали просматриваться эволюционные перспективы, которые в данной статье были перечислены далеко не полностью. ■

Работы поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 01-01-00227 и 03-03-48133) и Государственным контрактом (№ 10002-251/П-25/155-154/200404-071).

Литература

1. Mirsky A.E., Ris H. // Gen. Physiol. 1951. V.34. P.451—462.
2. Акифьев А.П. Молчащая ДНК и ее роль в эволюции // Природа. 1974. №9. С.49—54.
3. Cavalier-Smith T. // Ann. Rev. Biophys. Bioeugin. 1982. V.11. P.273—302.
4. Prescott D. M., Nuryi K.G., Bostook C.J. // Nature. 1973. V.376. P.597—600.
5. Prescott D.M. // Current opinion in genet. and Devel. 1997. V.7. P.807—813.
6. Акифьев А.П., Гришанин А.К., Дегтярев С.В. // Генетика. 1998. Т.34. С.709—718.
7. Гришанин А.К., Худолый Г.А., Шайхаев Г.О. и др. // Генетика. 1996. Т.32. С.492—499.
8. Гришанин А.К., Дегтярев С.В., Акифьев А.П. // Генетика. 2002. Т.38. С.468—472.
9. Гришанин А.К. // Онтогенез. 1995. Т.26. С.188—195.
10. Beermann S. // Chromosoma. 1977. V.60. P.297—344.
11. Beermann S. // Chromosoma. 1984. V.89. P.321—328.
12. Shapiro J.A. // Genetica. V.86. P.96—111.
13. Дегтярев С.В., Гришанин А.К., Белякин С.Н. и др. // Докл. Акад. наук. 2002. Т.384. С.255—258.
14. Degtyarev S., Boykova T., Grisbanin A. et al. // Genome Res. (in press.)
15. Murti J.R., Vumbulis M., Schimentic C. // Genetics. 1994. V.137. P.837—843.
16. Акифьев А.П., Гришанин А.К., Дегтярев С.В. // Генетика. 2002. Т.38. С.595—606.
17. Gregory T.R. // Trends in genetics. 2003. V.9. P.485—488.

Лекторий Квантовая механика плененных фотонов

Оптические микрорезонаторы, волноводы, фотонные кристаллы

А.К.Звездин

Когда говорят о квантовой механике, в первую очередь возникают ассоциации, связанные с электроном: дуализм «волна—частица», уравнение Шредингера, квантование уровней энергии электрона в атомах и т.д. Фотон (квант электромагнитного поля) находится как бы на втором плане. Безусловно, эта элементарная частица очень важна с концептуальной точки зрения, но в квантовой механике она рассматривается, главным образом, как промежуточный агент в задачах, где изучается взаимодействие излучения и вещества.

Состояние электрона может быть произвольным, как связанным (например, в атоме), так и свободным, и определяется внешними, действующими на электрон полями. Оно, точнее волновая функция электрона, вычисляется при помощи уравнения Шредингера, позволяющего найти энергетический спектр электрона (зависимость его энергии от импульса).

В отличие от электрона, фотон обычно считается свободной частицей с энергией $E = \hbar\omega$ и импульсом $\mathbf{p} = \hbar\mathbf{k}$, где ω — частота, \mathbf{k} — волновой вектор ($|\mathbf{k}| = k = 2\pi/\lambda$, где λ — длина волны), \hbar — постоянная Планка. Энергетический спектр свободного фотона непрерывен (как и для



Анатолий Константинович Звездин, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник теоретического отдела Института общей физики им.А.М.Прохорова РАН. Область научных интересов — физика конденсированного состояния и магнетизм, нанопластика, наноэлектроника. Лауреат Государственной премии СССР (1984).

свободного электрона) и характеризуется известным законом дисперсии электромагнитных волн

$$\omega = ck. \quad (1)$$

Если фотон находится в прозрачном веществе с показателем преломления n , то вместо скорости света c в формулу (1) следует подставить $u = c/n$. Различие в поведении и описании электрона и фотона объясняется тем, что электрон обладает электрическим зарядом, поэтому на его состояние легко повлиять электромагнитным взаимодействием. Фотон в такой картине представляется как нечто, не поддающееся управлению и контролю при помощи внешних воздействий.

Как локализовать фотон?

Однако в конце XX в. ситуация с фотонами изменилась. Были созданы новые оптические материалы, структуры и приборы, в которых движение фотонов оказывается далеко не свободным, а весьма напоминает движение электронов в атомах, молекулах и кристаллах. Простейшая подобная структура — оптический микрорезонатор, т.е. полость, стенки которой обладают высоким коэффициентом отражения в определенном диапазоне частот. Очевидно, что движение фотона ограничено внутренним объемом по-

лости. В англоязычной литературе такое свойство квантовой частицы обозначают словом «confinement», т.е. «заключение в замкнутом пространстве», или более кратко — «пленение». Поэтому фотон, заключенный в микрорезонаторе, естественно называть плененным, или локализованным*. Как и у связанного электрона, у плененного фотона энергетический спектр становится дискретным.

Близкими к микрорезонатору свойствами обладает, например, пленка или нить, состоящая из прозрачного материала с большим показателем преломления и окруженная средой с меньшим показателем преломления. На данном принципе основана волоконная оптика. Опять же по аналогии с электроном можно сказать, что среда с большим показателем преломления действует на фотон, как потенциальная яма на электрон, т.е. удерживает его в соответствующей области пространства.

Более сложная ситуация реализуется в новых искусственных оптических материалах — фотонных кристаллах. Этот термин ввел в научный обиход в 1987 г. Е.Яблонович [1], подчеркивая, что энергетический спектр фотона, движущегося в фотонном кристалле, аналогичен спектру электрона в реальном кристалле, например, в полупроводнике. Практически одновременно подобные результаты были опубликованы в работе С.Джона [2].

Фотонный кристалл представляет собой пространственно неоднородную структуру, характеризующуюся периодической функцией $n(x, y, z)$, где n — показатель преломления материала (рис.1,а). В целом картина напоминает потенциальный рельеф для электрона в кристалле. Здесь так же образуется запрещенная зона — определенная область частот, в которой запрещено свободное распространение фотона. Аналогия фотонный

кристалл — полупроводник оказалась очень плодотворной для проектирования и создания новых оптических материалов и приборов, значительно расширивших возможности оптоэлектроники и информационных технологий. Справедливости ради нужно отметить, что еще в 1972 г. российский физик В.Быков из Института общей физики опубликовал ряд важных результатов, относящихся к подобным периодическим средам. Видимо, его работа и работы других авторов на эту тему были сделаны слишком рано, когда ситуация еще не созрела и внимание исследователей было сосредоточено на других, более актуальных тогда направлениях. Кроме того, немалую роль в буме, который инициирован работами [1, 2], сыграл броский термин «фотонный кристалл». Еще знаменитый французский математик А.Пуанкаре заметил, что достаточно изобрести новое слово и это слово становится творцом.

Стимулировали интерес и практические нужды: свет привлекателен тем, что может нести очень большие потоки информации. Так, полоса частот оптоволоконного кабеля ($\sim 10^{12}$ Гц) на много порядков превышает полосу частот электрического проводника того же диаметра. Другая интригующая перспектива — управлять интенсивностью спонтанного и индуцированного излучения атомов и молекул, находящихся в фотонных кристаллах или оптических микрорезонаторах, чтобы повысить эффективность разнообразных источников света: от лампочек накаливания до лазеров.

Заставить светить, а не греть

Хорошо известно, что при переходе электрона между уровнями энергии E_n и E_m происходит поглощение или испускание фотона. Вероятность такого процесса, например, процесса спонтанного испускания фотона, пропорциональна плотности фотонных состояний $g(\omega)$ при частоте $\omega = (E_n - E_m)/\hbar$. Грубо говоря, $g(\omega)$ — это число фотонов, имеющих частоты в интервале от ω до $\omega + \Delta\omega$, которые можно «поместить» в единице объ-

* Проблема локализованных в пространстве фотонов издавна занимала классиков. Говорят, последним, начерченным рукой Бора на доске в его кабинете во дворце Карлсберг вечером накануне смерти (последовавшей 18 ноября 1962 г.), был чертеж эйнштейновского фотонного ящика, который имел непосредственное отношение к одной из главных проблем в дискуссиях Бора с Эйнштейном.

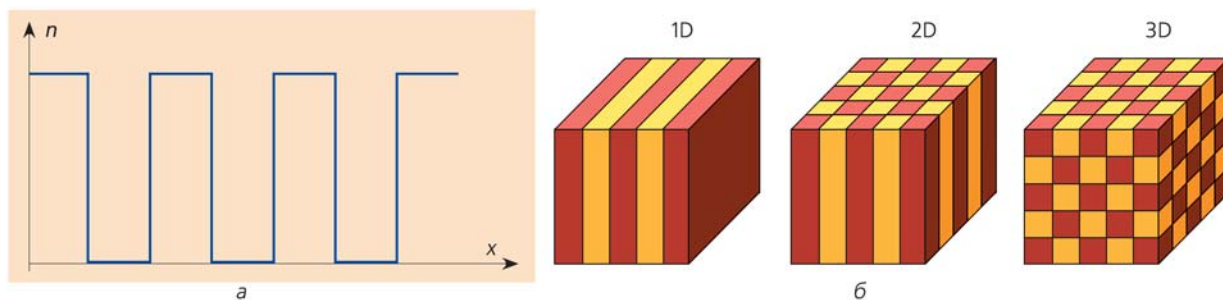


Рис.1. Зависимость показателя преломления от координаты (а) и схематическое изображение структуры фотонных кристаллов (б): одномерного (1D), двумерного (2D) и трехмерного (3D).

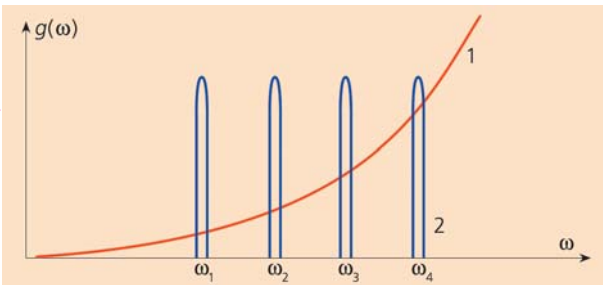


Рис.2. Плотности состояний свободного фотона (1) и фотона, локализованного в 3D-микрорезонаторе (2).

ема (1 см³). Для свободных фотонов плотность $g(\omega)$ зависит только от частоты и равна (рис.2.)

$$g(\omega) = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \cdot \quad (2)$$

Она определяет, в частности, интенсивность излучения тела, нагретого до температуры T (например, лампочки накаливания): интенсивность $I(\omega)$ есть произведение энергии фотона $\hbar\omega$, числа возможных мест для него $g(\omega)$ и соответствующей вероятности заполнения этих мест. Учитывая, что последняя задается функцией Планка, получим весьма низкую интенсивность источников видимого света, основанных на тепловом излучении (ламп накаливания и т.д.). Из рис.3 видно: даже при использовании наиболее жаропрочных вольфрамовых нитей ($T \approx 2000^\circ\text{C}$) основная часть теплового излучения приходится на инфракрасный диапазон и только малая часть ($\approx 5\%$) попадает в видимый диапазон. Лампы накаливания в основном греют окружающее пространство, а не светят. Используя оптические микрорезонаторы и фотонные кристаллы, можно повысить световую отдачу и эффективность тепловых источников. В чем суть идеи?

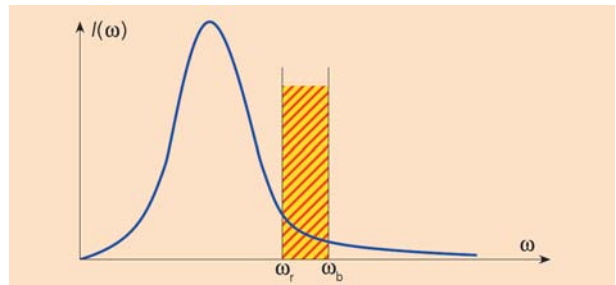


Рис.3. Спектр интенсивности излучения $I(\omega)$. Заштрихованная область показывает часть полного распределения, приходящуюся на видимый диапазон.

Если бы нам удалось так перераспределить плотность фотонных состояний $g(\omega)$, чтобы она была максимальной в видимой области спектра и значительно меньшей (в идеале обратилась бы в 0) в ИК-диапазоне, то световая отдача, т.е. отношение световой энергии излучения к полной, существенно возросла бы. Управление геометрическими и физическими параметрами фотонных кристаллов и микрорезонаторов позволяет это сделать.

В простейших плоских оптических микрорезонаторах распространение фотона вдоль оси z ограничено металлическими зеркалами (рис.4,а) или так называемыми брэгговскими зеркалами (рис.4,б). Последние представляют собой системы чередующихся тонких диэлектрических слоев, сконструированных таким образом, чтобы за счет интерференции последовательно падающих и отраженных лучей полностью погасить прохождения света через зеркала. В качестве основного и вспомогательных слоев используют, например, полупроводники $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ с разным значением x ; технология нанесения и согласования их между собой в последнее время хорошо отработана. Существуют 1D-микрорезонаторы — пленки, в которых есть одно запрещенное направление для рас-

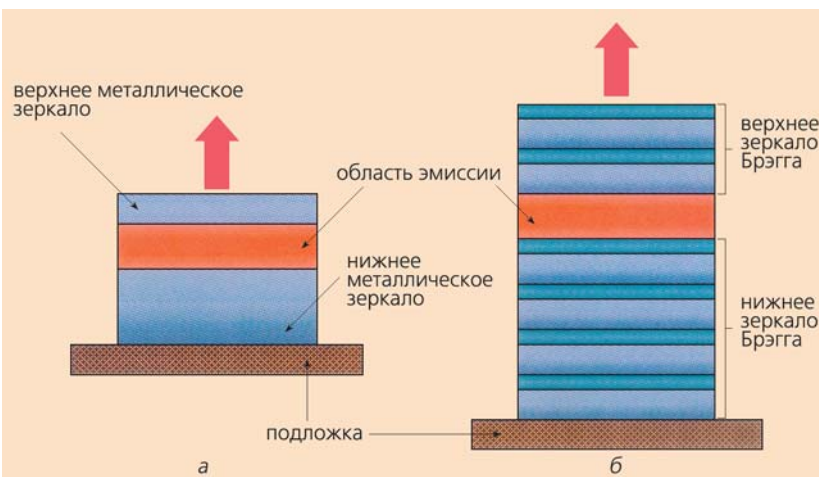
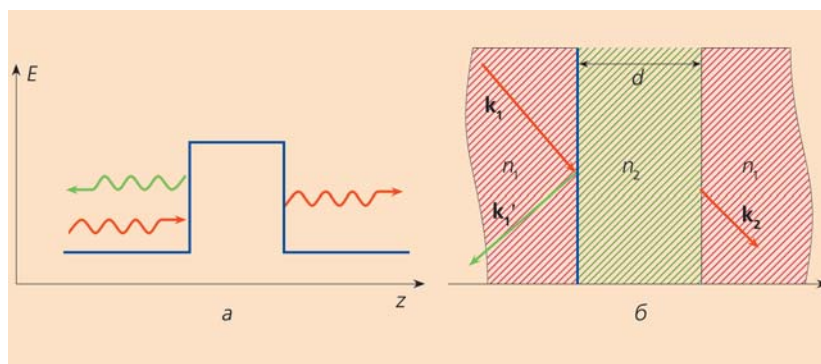


Рис.4. Планарные микрорезонаторы: с зеркальными стенками (а); с зеркалами Брэгга (б).

Рис.5. Схематическое изображение процесса туннелирования электрона через потенциальный барьер (а) и фотона через среду с пониженным значением показателя преломления (б).



пространения фотона, 2D-микрорезонаторы — оптические волокна, в которых запрещено свободное распространение фотонов в двух направлениях, и 3D-микрорезонаторы, в которых фотон полностью пленен (рис.1,б). В последнем случае уровни энергии фотона становятся дискретными.

Пусть 3D-микрорезонатор имеет форму параллелепипеда с полностью отражающими стенками, тогда собственные частоты фотона в нем будут

$$\omega_{p,s,k}^2 = \frac{\pi^2 c^2}{n^2} \left(\frac{p^2}{a^2} + \frac{s^2}{b^2} + \frac{k^2}{c^2} \right), \quad (3)$$

где p, s, k — целые числа. Уровни энергии фотона в микрорезонаторе определяются как $E_{p,s,k} = \hbar \omega_{p,s,k}$. Плотность фотонных состояний здесь — набор узких пиков, центрированных в точках $\omega_{p,s,k}$ (рис.2). Подбирая величины a, b, c, n (а также p, s, k), можно сделать плотность $g(\omega)$ большой по величине (или, наоборот, почти равной нулю) в нужной области спектра. Этот факт был впервые обнаружен в 1947 г. американским физиком Е.Перселлом и называется эффектом Перселла. Долгое время такая возможность управления спектром фотонов и вероятностью спонтанных переходов оставалась теоретическим предсказанием. В последние годы эффект Перселла был надежно экспериментально подтвержден.

Надо оговориться: полное отражение света не означает, что все излучение отражается на стенках. Действительно, фотон или пучок света, падающий из оптически плотной среды с показателем преломления n_1 на границу с оптически менее плотной средой с показателем преломления n_2 ($n_2 < n_1$) под углом, бóльшим угла Брюстера $\theta_B = \arcsin n_2/n_1$, испытывает полное внутреннее отражение. Но анализ уравнений Максвелла показывает, что при этом вместо прошедшей волны в оптически менее плотной среде вдоль поверхности распространяется так называемая латеральная, или побочная волна, амплитуда которой затухает как $\exp(-\alpha z)$, где z — расстояние по нормали от границы, α — параметр затухания. И если над поверхностью раздела сред поместить другую оптически плотную среду с $n = n_1$, латеральная волна проникает в нее и превращается там в сво-

бодно распространяющуюся волну с тем же волновым вектором, что и падающая волна в исходной среде.

Этот известный оптический эффект обычно интерпретируется в терминах квантового туннельного эффекта. Говорят, что фотон туннелирует из одной среды в другую так же, как электрон из одной потенциальной ямы в другую. Здесь аналогами потенциальных ям для фотонов, как отмечено выше, служат оптически плотные среды, а аналогом барьера между ними — оптически менее плотная среда (рис.5). Туннельный эффект фотонов широко используется в интегральной оптике для обеспечения оптической связи между различными оптическими каналами*.

Внутри фотонного кристалла

Для выяснения качественной стороны дела, так же, как это делается в физике твердого тела, рассмотрим одномерную цепочку оптических микрорезонаторов с расстоянием между ними, равным d , и расстоянием между центрами соседних микрорезонаторов, равным a .

Пусть E_1 и E_2 — два дискретных уровня, принадлежащих семейству разрешенных уровней резонатора. Предположим также, что фотоны, находящиеся в резонаторе, могут туннелировать в ближайшие соседние (левый и правый) резонаторы. Как это повлияет на уровни E_1 и E_2 ? В физике твердого тела ответ хорошо известен: дискретные уровни энергии E_1 и E_2 превращаются в разрешенные зоны, ширина которых увеличивается с увеличением амплитуды вероятности туннелирования (рис.б).

Если энергия фотона находится в разрешенной зоне, фотон свободно распространяется вдоль цепочки микрорезонаторов, хотя закон дисперсии, связывающий частоту и длину волны фотона, вообще говоря, кардинально отличается от такового

* В действительности все происходило ровно наоборот. Сначала был обнаружен и исследован «туннельный эффект» в оптике. Это достижение принадлежит академику Л.И.Мандельштаму. Значительно позже (1927) он и его ученик, будущий академик М.А.Леонтович, распространили полученный результат на электроны. Термин «туннельный эффект» появился еще позднее.

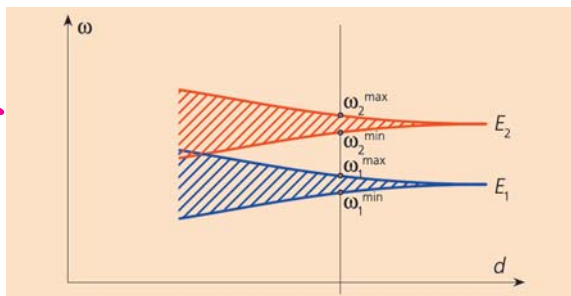


Рис.6. Образование энергетических разрешенных полос из дискретных уровней ω_1 и ω_2 за счет туннельных переходов.

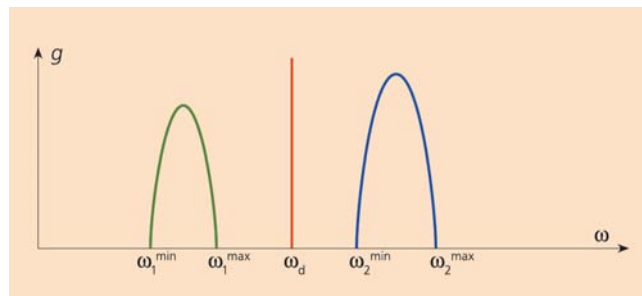


Рис.7. Плотности фотонных состояний фотонного кристалла. Область между ω_1^{\max} и ω_2^{\min} соответствует запрещенной зоне, а ω_d — дефекту кристалла (см. ниже рис.10).

для свободного фотона. Совсем необычно для оптики появление запрещенной зоны, наличие которой означает, что в данной области частот фотоны не могут свободно распространяться вдоль цепочки. Приведенные рассуждения естественно обобщаются на двух- и трехмерные структуры. Нужно лишь отметить, что расстояния между микрорезонаторами должны быть достаточно малыми и показатель преломления среды, заполняющей межрезонаторное пространство, также должен быть малым, чтобы в нем не могли находиться фотоны запрещенного диапазона частот.

На рис.7 схематически изображена плотность фотонных состояний $g(\omega)$ для рассматриваемой модели. Ширина зоны тем больше, чем больше отношение n_1/n_2 . Можно так подобрать период структуры и значения n_1 и n_2 , чтобы запрещенная зона была в ИК-диапазоне, а в видимой области был бы пик плотности состояний фотонов. Такой фотонный кристалл станет идеальным материалом для теплового источника света. Особенно интересен в этом отношении металлический фотонный кристалл — периодическая структура из металла с высокой температурой плавления (например, вольфрама), погруженная в прозрачную диэлектрическую среду или воздух. Подобная система была недавно предложена независимо группой итальянских и российских исследователей из исследовательского центра ФИАТ и американскими учеными из лаборатории «Сандиа». Согласно расчетам американских ученых [3], использование фотонного кристалла из вольфрама сможет повысить эффективность лампы накаливания с 5 до 60%. Это привело бы к колоссальной экономии энергии и средств, идущих на освещение, и вдобавок снизило бы экологическую нагрузку из-за бесполезного нагрева окружающей среды. Кроме того, управляя спонтанным излучением атомов и молекул, можно улучшить параметры оптоэлектронных источников и лазеров. Отметим еще интересный экспериментальный факт, обнаруженный исследователями из «Сандиа»: фотонный

кристалл преобразует падающее ИК-излучение в видимый свет, что очень полезно для повышения эффективности солнечных элементов. Наконец, фотонный кристалл можно использовать в качестве широкополосного светового фильтра (рис.8).

В понятии о запрещенной зоне фотонного кристалла — центральном в данном рассуждении — есть некоторая тонкость. Как уже упоминалось, различают три вида фотонных кристаллов — 1D-, 2D- и 3D-кристаллы. Полная запрещенная зона для фотонов существует только в трехмерных фотонных кристаллах. Слово «полная» означает, что запрещенная зона реализуется для произвольных ориентаций волновых векторов, т.е. для фотонов, распространяющихся в произвольном направлении (рис.9,а). В двухмерных и одномерных фотонных кристаллах запрещенная зона существует только для фотонов, которые распространяются в некотором телесном угле, достаточно широком в первых и значительно меньшем во вторых (рис.9,б). Несмотря на «неполноценный» характер таких зон, они тоже интересны для приложений, поскольку обладают многими характерными особенностями полной запрещенной зоны.

Известно, что дефекты в кристаллах, такие как вакансии, чужеродные атомы, дислокации, могут

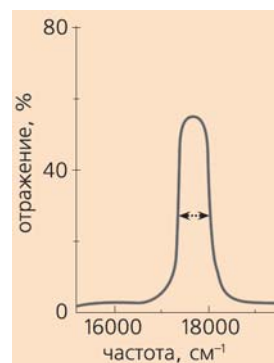
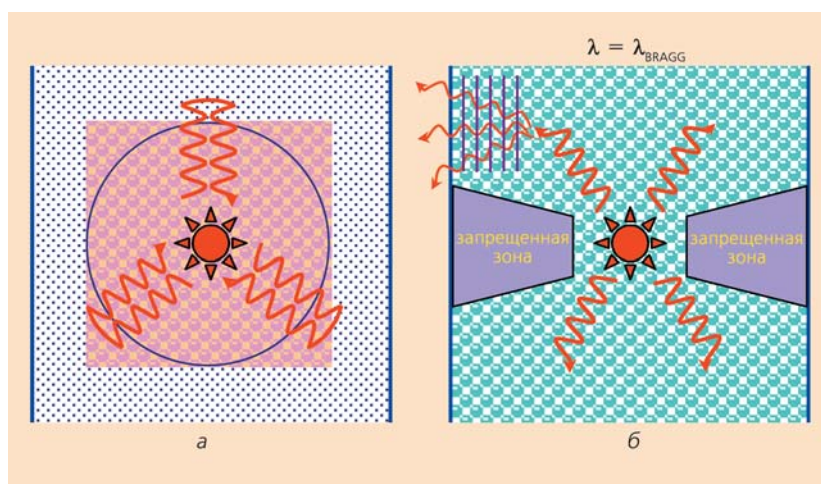


Рис.8. Частотная зависимость коэффициента отражения от фотонного кристалла [4].

Рис.9. Схематическое изображение процессов распространения света от точечного источника, находящегося в фотонном кристалле с полной (а) и частичной (б) запрещенными зонами [5].



приводить к возникновению в запрещенной зоне разрешенных уровней. Подобным уровням соответствуют локализованные состояния электронов. Аналогичная ситуация реализуется и в фотонных кристаллах. В качестве дефектов также могут быть вакансии, т.е. пустые элементы в решетке, или элементы, заполненные материалом с другим коэффициентом преломления. Эти типы дефектов называют точечными, но на самом деле они — микрополости, или микрорезонаторы, которые могут захватывать или локализовывать фотоны и представляют большой интерес для создания эффективных точечных источников света, в частности лазеров с низким порогом генерации. Встречаются и линейные дефекты, в качестве которых, например, выступают нитевидные полости внутри фотонного кристалла. В отличие от точечных, линейные дефекты могут проводить вдоль себя свет (рис.10). Фактически они представляют собой оптические волноводы: даже если они сильно изогнуты, такие дефекты будут идеальными проводниками фотонов — они «ведут» свет без потерь! Не удивительно, что им оказывается столь большое внимание в технике оптической связи.

Аналогия между квантовым поведением электронов в полупроводниках и фотонов в кристаллах имеет строгое математическое обоснование: уравнения Максвелла после несложных преобразований могут быть представлены в виде, формально идентичном уравнению Шредингера для волновой функции электрона. Именно эта аналогия, на которую обратил внимание Яблонович [1], и стала источником многих идей в развитии физики фотонных кристаллов. Более того, оказалось, что процессы в фотонных кристаллах поддаются компьютерным расчетам со значительно более высокой степенью надежности, чем соответствующие задачи для электронов в кристалле. Это связано с одним из фундаментальных различий между фотонами и электронами — электроны обладают значительно более сильным взаимодействием между собой, чем фотоны. Поэтому «электронные» задачи требуют учета многоэлектронных эффектов, сильно увеличивающих размерность задачи, что заставляет часто использовать недостаточно контролируемые приближения, в то время как в фотонике данной трудности практически не существует.

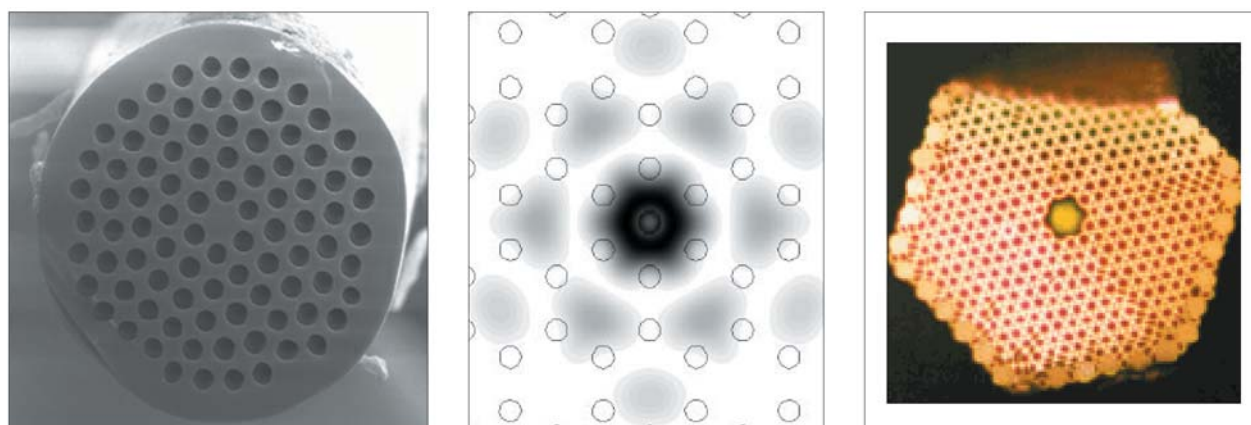


Рис.10. 2D-фотонные кристаллы. Световедущие каналы и оптические волокна.

Лекторий Как делают фотонные кристаллы

Производство фотонных кристаллов для видимого диапазона длин волн (рис.11) — очень сложная проблема, так как постоянная решетки такого кристалла должна быть сравнима с длиной волны света, т.е. лежать в субмикронной области. Субмикронная область сейчас активно осваивается микроэлектроникой, основанной на планарной технологии, однако здесь речь идет о создании уже трехмерных периодических структур с субмикронным периодом. Напомним, что эта длина более чем в 100 раз меньше диаметра человеческого волоса. В настоящее время существует два пути производства фотонных кристаллов. Первый, называемый иногда сокращенно «сверху — вниз», основан на литографии, широко используемой в микроэлектронике для производства полупроводниковых интегральных схем. Этот сложный метод, требующий очень дорогого оборудования, но в то же время очень точный и гибкий, позволяет в принципе создавать произвольные структуры и безусловно является перспективным. Здесь недавно были достигнуты впечатляющие результаты. К таковым относятся упомянутые выше металлические (вольфрамовые) фотонные кристаллы с очень широкой полной запрещенной зоной в диапазоне от 8 до 20 мкм. Период 3D-фотонного кристалла был равен 4.2 мкм, толщина элементов — 1.2 мкм. Чтобы создать фотонный кристалл с запрещенной зоной, непосредственно примыкающей к видимому диапазону, необходимо переходить в нанометровую область.

Другой путь — «снизу — вверх», основанный на спонтанной кристаллизации коллоидного раствора мелких частиц и называемый самосборкой, обеспечивает быстрый и сравнительно простой метод изготовления фотонных кристаллов. Метод самосборки применяется, главным образом, для со-

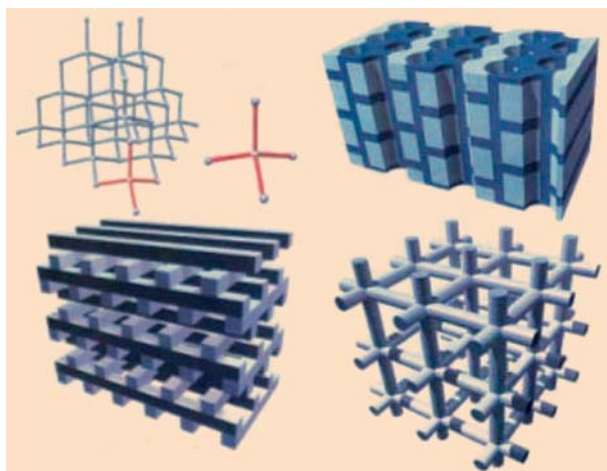


Рис. 11. Типичные структуры 3D-фотонных кристаллов [6].

здания диэлектрических фотонных кристаллов. Например, на первом этапе из коллоидного раствора методом самосборки из полимерных или кварцевых (SiO_2) микросфер выращивается трехмерная периодическая структура, которая используется далее как матрица для изготовления периодической оптической среды с заданными параметрами. На следующих стадиях пустоты матрицы заполняются материалом с высоким коэффициентом преломления, после чего микросферы удаляются путем химического травления, что и решает задачу.

К недостаткам метода нужно отнести малое разнообразие типов получаемых периодических структур (матриц). Кроме того, довольно трудно избавиться от случайных дефектов, которые «портят» запрещенную зону, но нелегко создать искусственные дефекты структуры, которые модифицируют зону нужным образом. Однако в последние годы Я.Власов и его коллеги из фирмы IBM доказали, что указанные препятствия могут быть преодолены [7]. Они вырастили крупные (размером порядка 1 см) и весьма совершенные фотонные кристаллы на поверхности кремния, отчетливо демонстрирующие наличие в них запрещенной зоны. Более того, ученые научились формировать в них искусственные дефекты. Все это, а также тот факт, что фотонные кристаллы выращены на поверхности кремния — основного материала микроэлектроники, очень обнадеживает. Тем более, что Природа уже поработала в данном направлении.

Недавно физики из Санкт-Петербурга и Минска [8] нашли интересные и глубокие аналогии в свойствах (поведении) фотонных кристаллов и естественного минерала — опала, который также состоит из плотно упакованных кварцевых сферических частиц, хотя и не обладает регулярной периодической структурой. Опалы издавна известны восхитительной игрой цветов, которая возникает, так же как и в фотонном кристалле, благодаря дифракции света на структуре кварцевых сфер.

Австралийские ученые из университета Сиднея открыли [9], что фотонные кристаллы встречаются в живом мире, а именно в морском черве, живущем в сравнительно глубоких морских водах. Морской червь покрыт «мохом» из иголок с яркой радужной окраской, которая переливается и играет в зависимости от угла падения света и угла наблюдения (рис.12,а,б,в).

Исследования с помощью сканирующего электронного микроскопа обнаружили у иголок наличие 2D-периодической структуры (рис.12,г), вероятно, с неполной запрещенной зоной. Здесь так же, как и в опале, игра цвета определяется дифракцией света на сложной микроструктуре, а не дисперсией коэффициентов поглощения и отражения на тех или иных красителях.

Некоторые бабочки (например, *Morpho rhetenor*, Южная Америка [10]) радужной окраской крыльев также обязаны дифракции света на микроструктуре чешуек их крыльев (рис.13).

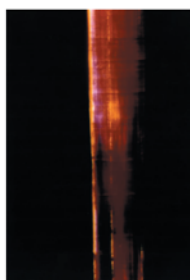
Рис.12. Морской червь *Genus aphrodita* (а), его радужные иголки (б, в) и изображение поперечного сечения иголки в сканирующем электронном микроскопе (г).



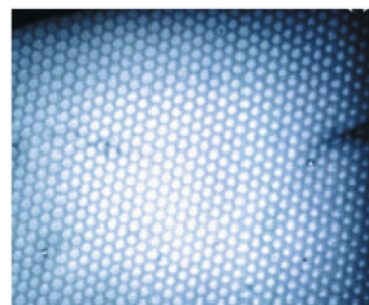
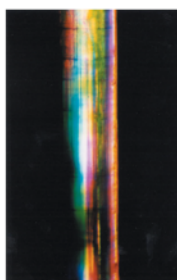
а



б

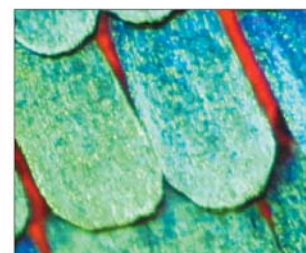


в



г

Рис.13. Бабочка *Morpho rhetenor* и детали выделенного участка ее крыла.



Эти открытия вдохновили исследователей из Марселя и Амстердама [10] на разработку новых видов тканей, окраска которых создается не только определенными пигментами, но и специально сконструированной микроструктурой; привлекают они и инженеров автомобильной промышленности. Оптические эффекты, характерные для 2D-фотонных кристаллов, можно поискать и в спектрах отражения шелковых ковров, изготавливаемых искусными мастерицами из Керуана (Тунис). Плотность узлов в них порядка 10^6 м^{-2} , и их цвет ярко и причудливо переливается на солнце при изменении угла падения света. Здесь дело, очевидно, тоже не только в пигменте, но и в дифракции света.

Но вернемся к проблемам фотоники. Если мы хотим обрабатывать информацию и передавать ее с помощью фотонов подобно тому, как это делают для нас электроны, надо научиться как-то фотонами управлять. Хотя электрического заряда у них нет, но наличие поляризации, т.е. ориентации их электромагнитного поля, дает определенную надежду на успех.

Путь к управлению поляризацией

С квантовомеханической точки зрения понятие поляризации света связано с наличием у фотона спина. Фотоны как частицы с нулевой массой покоя могут находиться в двух состояниях со значениями момента $\pm\hbar$, направленного вдоль импульса фотона; такие фотоны обладают круговой поляризацией: левой (квантовое число $m = +1$) или правой ($m = -1$). Эллиптически поляризованные фотоны находятся в состоянии, которое складывается из состояний с $m = \pm 1$; при линейной поляризации суперпозиция этих состояний такова, что средняя проекция момента на направление импульса равна нулю.

Итак, фотон является двухуровневой системой, т.е. системой, описываемой квазиспином $S_{\text{об}} = 1/2$, направление которого в пространстве определено полярным (α) и азимутальным (β) углами. Иными словами, множество состояний поляризации однозначно отображается на множество направлений, задаваемых углами α и β , или, что эквивалент-

но, на множество точек, принадлежащих некоторой сфере, которую в оптике называют сферой Пуанкаре, а в квантовой физике — сферой Блоха.

У свободного фотона состояния $m = +1$ и $m = -1$ имеют одинаковые энергии (частоты). В квантовой механике такую ситуацию называют вырождением. Снять вырождение можно при помощи внешнего магнитного поля, направленного вдоль волнового вектора (предполагается, что фотон распространяется в среде с показателем преломления n): в поле компоненты с $m = \pm 1$ будут распространяться с разными скоростями:

$$u_{\pm} = \frac{c}{n} (1 \pm Q). \quad (4)$$

В результате в магнитном поле имеет место циркулярное двулучепреломление (гиротропия) среды. Магнитооптический параметр Q , в немагнитных средах пропорциональный магнитному полю, имеет типичное значение $\sim 10^{-6} - 10^{-4}$. В магнитных материалах параметр Q отличен от нуля даже в отсутствие поля и достигает величин $10^{-3} - 10^{-1}$.

Экспериментально при этом наблюдается известный эффект Фарадея, т.е. вращение плоскости поляризации линейно поляризованного света при его распространении в среде вдоль магнитного поля. Угол его вращения (угол Фарадея) равен

$$\theta_F = \frac{\omega}{c} nQL = \frac{2\pi L}{\lambda} Q, \quad (5)$$

где L — длина образца, $\lambda = c/\omega n$ — длина волны фотона в среде. Так ведет себя свободный фотон в магнитном поле.

Эффект Фарадея — один из наиболее эффективных методов управления свойствами фотонов. Он уже широко используется в лазерной технике, информатике и других областях [13]. Как он проявляется в случае плененных фотонов?

Поведение плененного фотона в магнитном поле существенно отличается от вышеописанного. Прежде всего заметим, что наличие геометрических рамок, ограничивающих движение фотона, уже само по себе, как правило, снимает вырождение состояний $m = \pm 1$ фотона. Рассмотрим, например, распространение фотона в тонкой пленке, состоящей из прозрачного материала с показателем преломления n . В этом случае состояния с $m = \pm 1$ расщепляются таким образом, что существуют две различно поляризованные моды TE и TM , скорости распространения которых различны — u_{TE} и u_{TM} . В первой моде перпендикулярно направлению движения фотона направлено электрическое поле, во второй — магнитное. Электромагнитное поле в подобном волноводе можно представить в виде суперпозиции двух близких TE - и TM -мод.

Как и для свободного фотона, магнитное поле (или вектор намагниченности прозрачного магнитного материала), направленное вдоль волно-

вода, вызывает переходы между модами. Например, если на «вход» прозрачного диэлектрического волновода поступает TE -мода, то из-за гиротропии, наведенной магнитным полем, она постепенно (по мере распространения) переходит в TM -моду (но обычно не полностью), затем обратно в TE -моду и т.д. Так реализуется эффект Фарадея в пленочном волноводе. Эффективность преобразования ограничивается, естественно, коэффициентом поглощения света и величиной расщепления TE - и TM -мод, т.е. разностью u_{TE} и u_{TM} . Чем больше величина расщепления, тем меньше эффективность преобразования мод, т.е. тем меньше результирующая величина угла вращения плоскости поляризации света.

Аналогичный механизм эффекта Фарадея — конверсия $TE \leftrightarrow TM$ -мод — реализуется в двухмерных фотонных кристаллах [11]. Как и в волноводах, чтобы достичь максимальной величины эффекта Фарадея (или максимальной эффективности управления светом), нужно согласовать TE - и TM -моды, т.е. сблизить их фазовые скорости.

В фотонных кристаллах возникает еще одна интересная возможность усилить эффект Фарадея. Как мы показали [11], для этого нужно «работать» на границе между разрешенной и запрещенной зонами, где происходит критическое замедление распространяющихся волн, что приводит к возрастанию соответствующих эффектов за счет увеличения времени взаимодействия волна—кристалл.

Квантовомеханическая аналогия

Обращает на себя внимание весьма близкая аналогия между рассмотренной картиной поведения фотона в волноводе и двухуровневой системой квантовой механики. Важной характеристикой двухуровневой системы является квазиспин $\mathbf{S}_{\text{кв}}$ (или вектор Блоха). Динамика $\mathbf{S}_{\text{кв}}$ определяется простым уравнением [12]:

$$\frac{\partial \mathbf{S}_{\text{кв}}}{\partial t} = [\mathbf{S}_{\text{кв}} \times \mathbf{A}_{\text{эф}}], \quad (6)$$

где $\mathbf{A}_{\text{эф}}$ представляет собой эффективное поле, действующее на квантовую систему. Уравнение (6) описывает движение вектора $\mathbf{S}_{\text{кв}}$ по поверхности Блоха. Уравнение для квазиспина, описывающего фотон в волноводе или периодической среде, выглядит, как и (6), только вместо времени нужно использовать координату вдоль пути распространения фотона:

$$\frac{\partial \mathbf{S}_{\text{кв}}}{\partial x} = [\mathbf{S}_{\text{кв}} \times \mathbf{F}_{\text{эф}}(x)], \quad (7)$$

где $\mathbf{F}_{\text{эф}}$ — эффективное поле, действующее на спин фотона. Разница заключается в том, что в квантовой электронике используются поля, зависящие

от времени, а в фотонике — от пространственных координат. Эта квантовомеханическая «спиновая» аналогия отмечена и обоснована в [13] примерно в то же время, что и аналогия Яблоновича, приведшая к созданию фотонных кристаллов. Логично ожидать, что квантовые эффекты, хорошо известные для двухуровневых систем, такие как нутовая, π -импульс, эхо Хана и другие, имеют пространственные аналоги для фотона, распространяющегося в специально созданных пространственных структурах типа фотонных кристаллов. Так ли это на самом деле?

Уравнение (7) дает ключ к достижению максимальной эффективности преобразования мод в магнитных волноводах, подобно тому, как в квантовой электронике при помощи так называемого π -импульса решается аналогичная задача — обращение населенностей двухуровневой системы. Рассмотрим гармоническую модуляцию магнитного поля, существующую в волноводе (в магнитном материале подобную модуляцию можно создать, возбуждив в нем стоячую магнитоэлектрическую волну). Если длина волны модуляции α и разность волновых векторов TE - и TM -волн Δk согласованы, так что $\alpha\Delta k = 2\pi$, то вращение вектора Блоха по сфере (рис.14) происходит практически вдоль меридиана, и степень конверсии мод (или угол вращения Фарадея) линейно зависит от длины распространения волны. Для полной конверсии, например $TE \rightarrow TM$, или наоборот, достаточно длина, при которой вектор $S_{\text{в}}$ переориентируется из северного полюса в южный, или наоборот, т.е. при угле переориентации $S_{\text{в}}$, равном π . На практике обычно используют волноводы с чередующимся направлением намагниченности (рис.15), которые можно подобрать таким образом, чтобы достигнуть переориентации $S_{\text{в}}$ между северным и южным полюсами сферы (рис.14), т.е. с 100% конверсией мод.

Есть здесь и аналог спинового эха. Американский физик Э.Хан, кому принадлежит честь открытия этого явления, предложил его образное объяснение. Пусть шеренга бегунов стартует на стадионе в момент времени $t = 0$, и дальше каждый бежит со своей, но постоянной, скоростью. Через некоторое время из-за разности скоростей шеренга рассыпается по беговой дорожке. Если в момент времени τ подать сигнал, по которому бегуны поворачиваются и бегут назад, то в момент

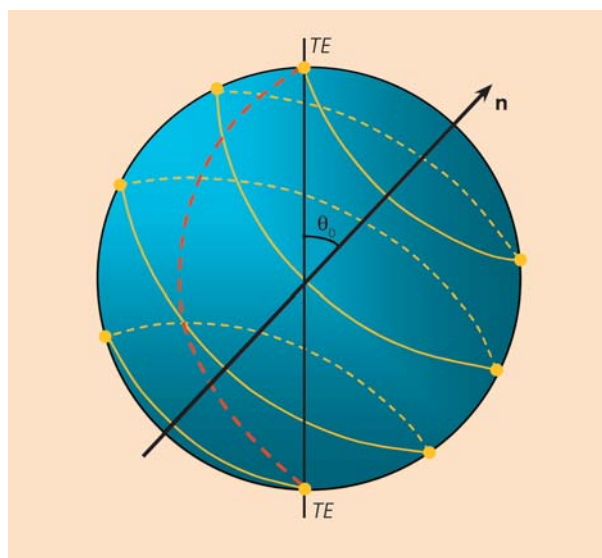
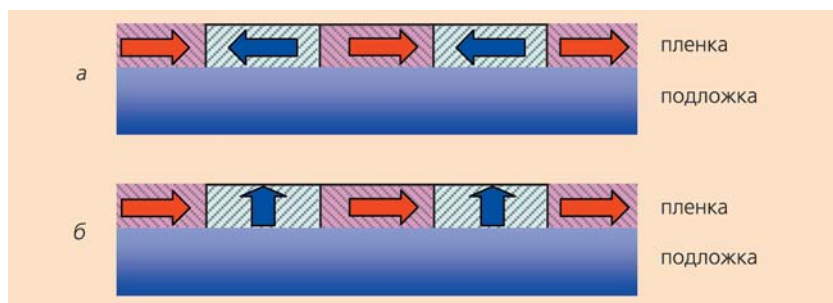


Рис.14. Изображение на сфере Пуанкаре процесса преобразования мод в волноводах с чередующимся изменением направления намагниченности. Пунктиром изображена траектория вектора Блоха для гармонического распределения намагниченности.

времени 2τ они снова соберутся в шеренгу на старте. Роль бегунов в спиновом резонансе играют спиновые моменты частиц, которые прецессируют («бегут») вокруг магнитного поля с несколько различными частотами. Спиновое эхо широко используется в квантовой электронике.

Подобный эксперимент можно произвести с фотонами. Рассмотрим схему эксперимента, изображенную на рис.16,а. Элементы U и V — два одинаковых двупреломляющих кристалла равной толщины. Пусть на входе в среду U падает полихроматический пучок света, линейно поляризованный под углом 45° к осям x и y кристалла. На выходе из кристалла U каждая спектральная компонента пучка будет иметь в общем случае эллиптическую поляризацию. Весь световой пучок в целом будет деполаризован из-за дисперсии. Такое состояние поляризации аналогично полной потере макроскопического магнитного момента перед воздействием второго импульса в явлении эха Хана. Если оси

Рис.15. Магнитооптические волноводы с чередующимся изменением направления намагниченности в волноводной пленке вдоль оси x (а) и вдоль осей x и z (б); стрелками показаны направления намагниченности.



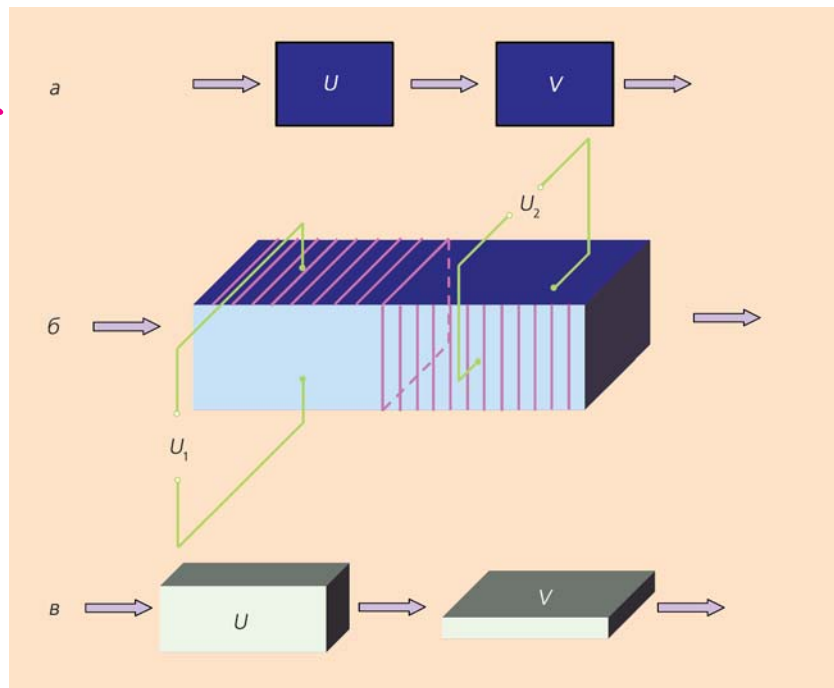


Рис.16. Геометрия эксперимента по наблюдению пространственного фотонного эха; общая схема (а), при использовании электрооптического кристалла (б) и на анизотропных оптических волноводах (в) [14].

кристалла V будут повернуты на 90° относительно осей кристалла U , то результатом распространения света во втором кристалле будет полное восстановление состояния поляризации света на выходе из кристалла V , т.е. поляризованный пучок будет вновь линейно поляризован.

Для наблюдения эффекта можно использовать и электрооптические кристаллы. Роль элементов U и V тогда могут играть отдельные участки одного и того же кристалла, если приложить к ним электрическое поле во взаимно перпендикулярных направлениях (рис.16,б). Аналогичный эффект возможен и в анизотропных оптических волноводах, в которых TE - и TM -моды связаны между собой (рис.16,в). В случае оптических волноводов эффект будет ярко выражен из-за сильной дис-

персии, и эксперимент можно проводить в узком спектральном диапазоне.

* * *

Хотелось бы закончить статью известным историческим анекдотом. Английская королева, познакомившись с открытиями Фарадея в области электромагнетизма, спросила его об их практической пользе. На это Фарадей ответил: «Ваше Величество, что мы можем сказать о будущих достижениях новорожденного?»

Область физики и технологии, о которой шла речь в статье, также находится еще в очень юном возрасте, однако ее бурный старт позволяет надеяться, что она подарит нам много ярких открытий и практических достижений. ■

Литература

1. Yablonovitch E. // Phys. Rev. Lett. 1987. V.58. P.2059—2062.
2. John S. // Phys. Rev. Lett. 1987. V.58. P.2486—2489.
3. Fleming J.B., Lin S.Y., El-Kady R., Biswas K.M. // Nature. 2002. V.417. P.52—55.
4. Vos W.L., Megens M., Kats C.M. van, Bösecke P. // J. Phys. Cond. Matter. 1996. V.8. P.9503—9508.
5. Megens M., Wijnhoven G.J., Lagendijk A., Vos W.L. // J. Opt. Soc. Am. 1999. V.B16. P.1403—1408.
6. Yablonovitch E. // Scientific American. Dec. 2001. P.47—54.
7. Vlasov Y., Xiang-Zheng Bo, Strum J.C., Norris D.J. // Nature. V.414. P.289—293 (Nov.2001).
8. Petrov E.P., Bogomolov V.N., Kolosba I.I., Gaponenko S.V. // Phys. Rev. Lett. 1987. V.81. P.77—80.
9. <http://www.physics.usyd.edu.au/~nicolae/seamouse.htm>
10. Tayeb G., Enoch S., Gralak B. // Optics&Photonics News. V.14. №2. P.38—43 (February 2003).
11. Звездин А.К. Краткие сообщения по физике ФИАН. 2002. Т.12. С.37—50.
12. Клышко Д.Н. Физические основы квантовой электроники. М., 1986.
13. Звездин А.К., Котов В.А. Магнитооптика тонких пленок. М., 1988; Zvezdin A.K., Kotov V.A. Modern magneto-optics and magneto-optical materials // IOP Publishing. 1997. Bristol and Philadelphia.
14. Ахмедиев Н.Н., Звездин А.К. // Оптика и спектроскопия. 1989. Т.65. С.487—489.



Глубинные причины образования осадочных бассейнов

А.Г.Родников, Н.А.Сергеева, Л.П.Забаринская

Образование и накопление углеводородов, в основном, происходит в осадочных бассейнах, представляющих собой области длительного погружения земной коры. При этом, как считают многие специалисты, идет прогрев осадочной толщи восходящими тепловыми потоками, активизирующими процессы нефтегазообразования [1–4], а источником тепловых потоков являются мантийные диапиры расплавленного вещества, поднимающегося из мантии. Очаги нефтегазообразования представляют собой породы, погруженные в зону с температурами, превышающими 100°C. Здесь, в нижних пластах осадочного разреза, формируются углеводородные потоки, которые, поднимаясь по трещинам, порам и разломам, проникают в коллекторские горизонты, образуя залежи на глубинах 1–3 км.

На основе геодинамических построений мы провели изучение глубинного строения осадочных впадин окраинных морей переходной зоны от Евразийского континента к Тихому океану. Были использованы геолого-геофизические данные, которые дали возможность установить роль глубинных процессов, протекающих в мантии Земли,



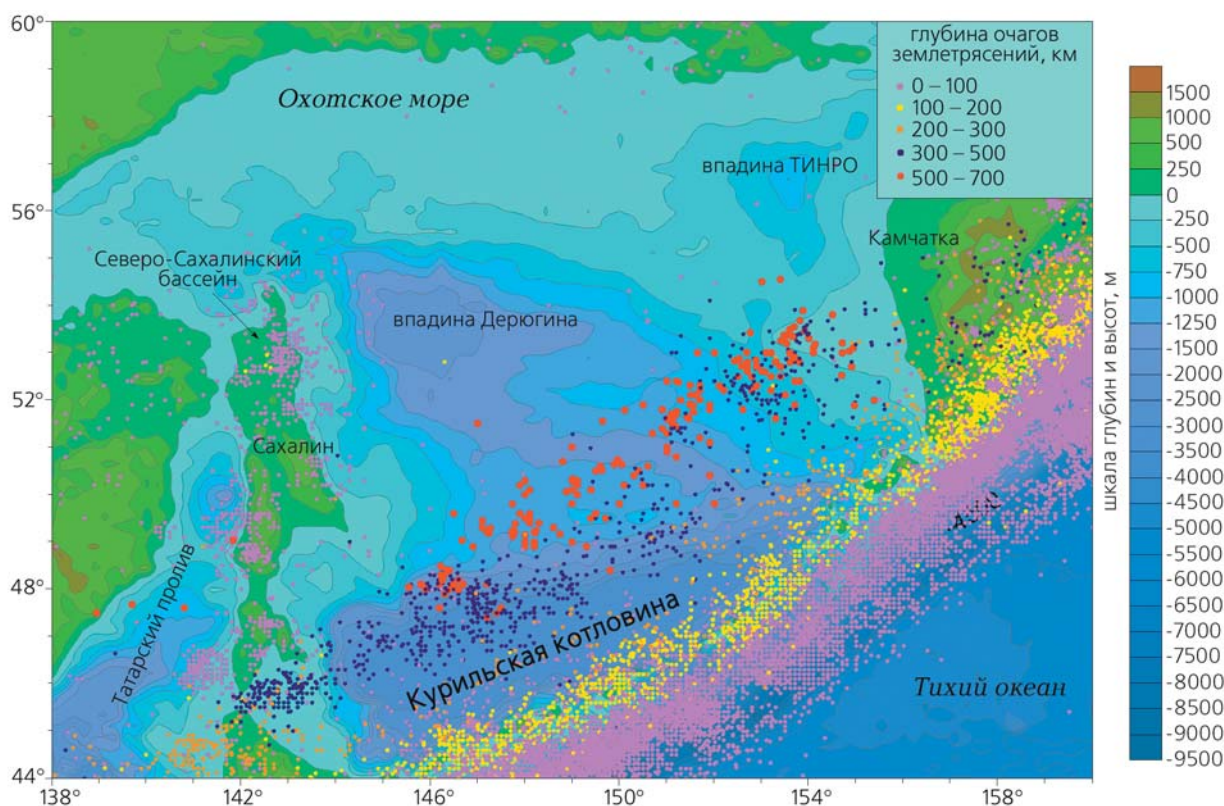
Александр Георгиевич Родников, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Геофизического центра РАН. Область научных интересов — глубинное строение активных континентальных окраин. Руководитель международного проекта «Геотраверс».



Наталья Александровна Сергеева, кандидат физико-математических наук, руководитель отдела того же центра. Специалист в области физики Земли. Участник создания базы данных по Спитакскому землетрясению 1988 г. на оптическом диске.



Людмила Павловна Забаринская, геофизик, старший научный сотрудник того же центра. Специалист в области комплексной интерпретации геолого-геофизической информации для построения глубинных моделей литосферы. Участвовала в создании системы доступа к информационным ресурсам Мирового центра данных по физике твердой Земли.



Распределение очагов землетрясений, нанесенных на батиметрическую карту региона Охотского моря, и положение осадочных впадин.

в формировании осадочных бассейнов и накоплении в них углеводородных залежей. Как известно, мантия образует каменную оболочку Земли толщиной до 2900 км. Ее верхняя часть состоит из жесткого наружного слоя — литосферы и подстилающего его размягченного слоя — астеносферы, в которой вещество находится при температуре, близкой к температуре плавления. Температура верхней поверхности астеносферы принимается за 1000–1200°C. Астеносфера расположена на глубинах от 10 км в рифтовых структурах океанов и до 200 км под платформами. Здесь образуются вулканические очаги и астеносферные диапиры, насыщенные магмой и флюидами. В срединно-океанических хребтах, опоясывающих весь земной шар, происходит раздвижение (спрединг) океанического дна, обусловленное конвектив-

ными потоками вещества в астеносфере. Горячее вещество выносятся наружу в осевой зоне океанических хребтов, образуя новую кору. В местах расположения глубоководных желобов около островных дуг океаническая литосфера вначале уходит под островную дугу, а затем под континент, иногда достигая ядра на глубине 2900 км. При погружении (субдукции) океанической литосферы под континент на глубине 100–150 км в результате сложных физико-химических процессов зарождается андезитовая магма, излияние которой и приводит к образованию островных дуг. За ними, над зонами субдукции, формируются осадочные бассейны — области, перспективные для нефтегазообразования.

Рассмотрим глубинное строение осадочных впадин Охотского моря — впадину Дерюгина, Се-

веро-Сахалинский осадочный бассейн, Татарский пролив, Курильскую котловину — и сравним их с другими осадочными бассейнами окраинных морей Тихого океана.

Осадочные впадины Охотского моря

Тектоническое положение. Регион Охотского моря представляет собой крупную кайнозойскую литосферную плиту переходной от Азиатского континента к Тихому океану зоны. Это район сочленения трех литосферных плит: Евразийской, Северо-Американской и Тихоокеанской. Плита Охотского моря сформировалась в поздне меловую эпоху более 100 млн лет назад, а в последующее время была перекрыта чехлом кайнозойских осадочных

и вулканогенно-осадочных пород. Осадочные впадины в ее пределах начали образовываться 80–60 млн лет назад. В то время происходил раскол литосферы, ее растяжение и прогибание коры с формированием рифтовых структур. Процессы растяжения 20–10 млн лет назад сменились процессами сжатия, приведшими к образованию надвигов [5, 6]. Расположение плиты Охотского моря в зоне контакта трех литосферных плит определило ее высокую сейсмическую и тектоническую активность. Подавляющее большинство землетрясений приурочено к Курильской островной дуге. Здесь Тихоокеанская плита погружается под континент, образуя сейсмофокальную зону, которая прослеживается до глубины 700 км. На западе плита Охотского моря ограничена глубинными разломами, простирающимися вдоль Сахалина, где очаги землетрясения локализируются, в основном в коре. Землетрясение, произошедшее в мае 1995 г. с магнитудой 7.0, разрушило г.Нефтегорск. В результате этого катастрофического события на поверхности Сахалина возникли разломы северо-восточного простирания общей протяженностью до 35 км.

Толщина земной коры в районе Охотского моря резко меняется от 10 км под некоторыми осадочными впадинами и до 40 км под островными дугами и подводными поднятиями. Астеносфера под Охотским морем располагается на глубине 50–70 км, а под Северо-Западной котловиной Тихого океана — на глубине около 100 км. От астеносферы отходят диапиры частичного плавления вещества, которые достигают глубины 20–30 км под осадочным трогом Татарского пролива, впадиной Дерюгина и Курильской котловиной. Под Северо-Сахалинской осадочной впадиной, содержащей почти все нефтегазовые месторождения Сахалина, астеносфера прослеживается на глубине около 70 км.

Впадина Дерюгина расположена в западной части Охотского моря. Она оконтурена изобатой 1500 м и протягивается на 800 км при ширине 150–200 км. Максимальная глубина 1795 м. Впадина выполнена кайнозойскими, преимущественно глубоководными, морскими терригенными и кремнисто-терригенными отложениями мощностью до 12 км, которые залегают на неровной поверхности фундамента мощностью не более 10 км. Разломы способствуют проникновению во впадину из горячей астеносферы флюидных потоков, обеспечивающих интенсивную переработку фундамента.

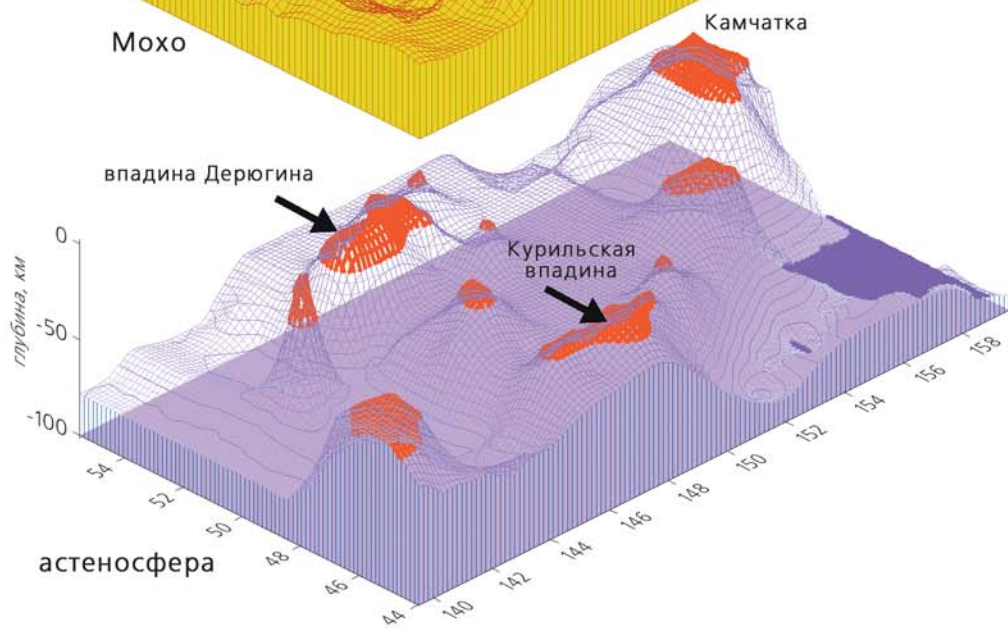
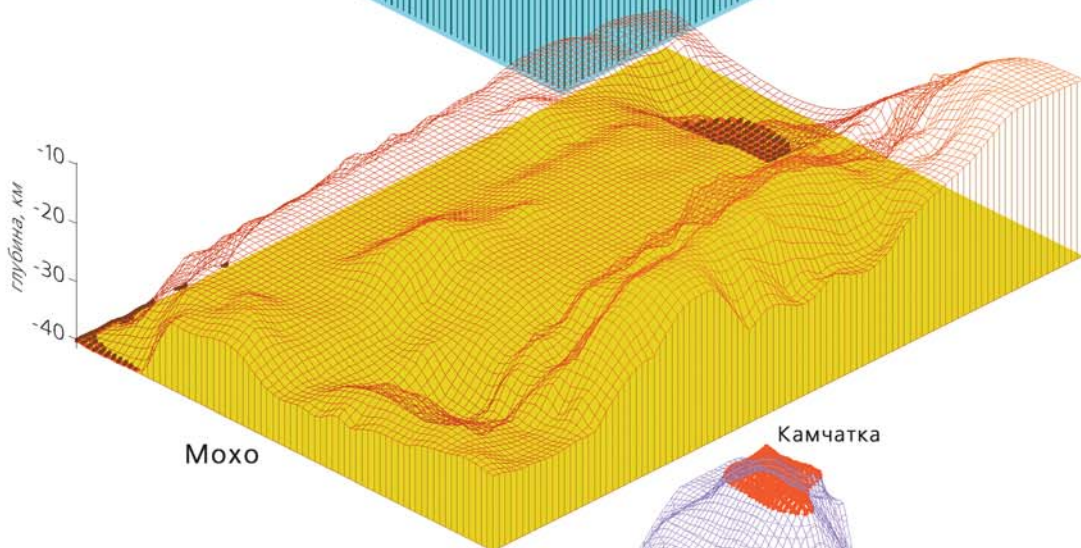
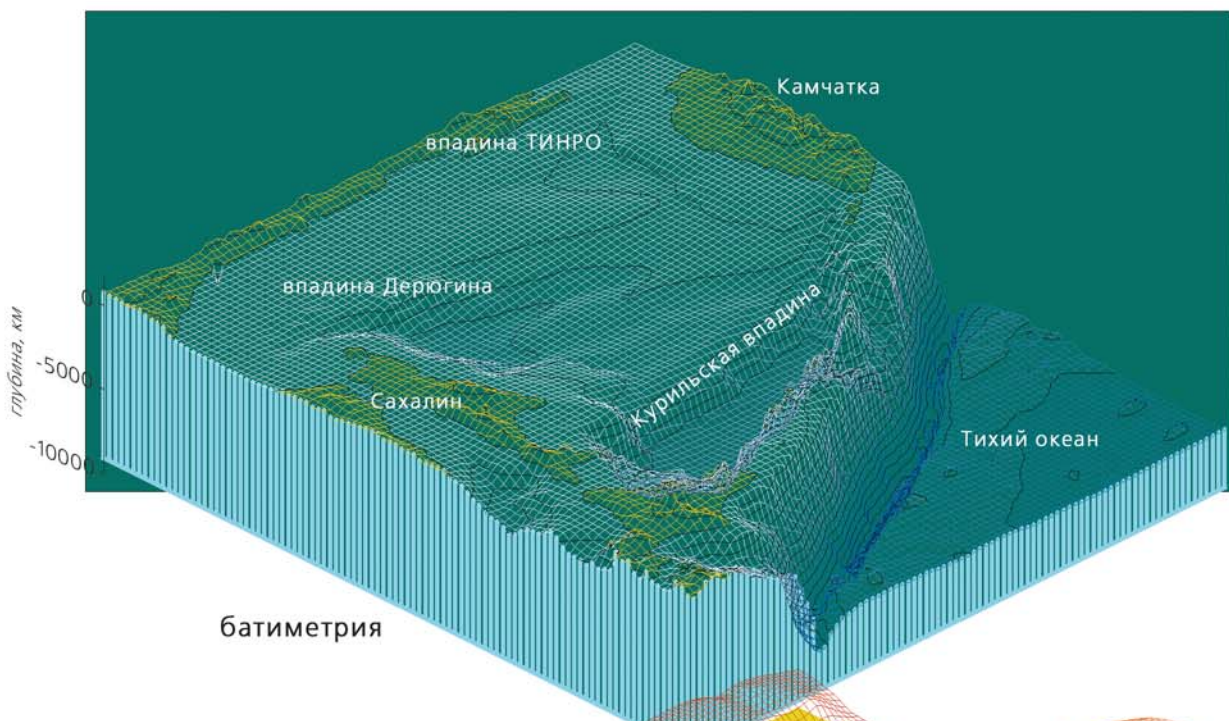
Астеносфера расположена здесь на относительно небольших глубинах — 25–30 км. Геохимические исследования подтверждают активные гидротермальные процессы, протекающие во впадине: вдоль зон разломов в придонной воде отмечается высокое содержание метана, водорода, углекислого газа, гелия и сероводорода; в осадочном чехле обнаружена баритовая минерализация; на западном борту, на глубине около 800 м в керне глинистых осадков, обнаружены метансодержащие газогидраты [7].

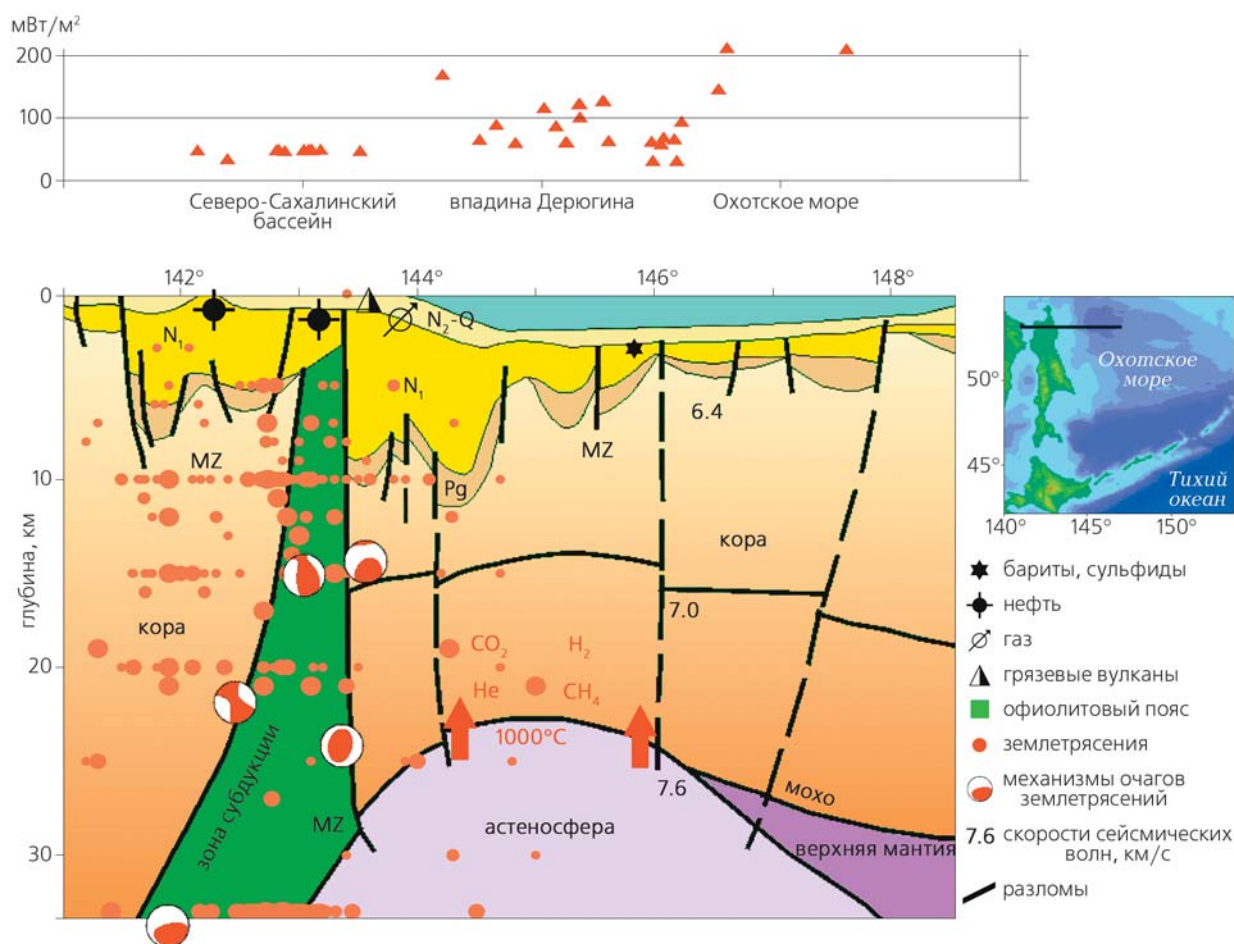
С запада впадина Дерюгина ограничивается Шмидтовским подводным поднятием, сложенным меловым офиолитовым комплексом пород, образующим тонкие пластины, надвинутые в конце миоцена на мезозойский фундамент. Предполагается, что офиолитовый комплекс отражает положение древней (мезозойской) субдукции океанической коры Охотского моря под структуры Сахалина. Подтверждением служит и выделенная на Восточном Сахалине поздне меловая-палеогеновая вулканическая дуга, состоящая из фрагментов вулканических островов, междугловых и преддугловых прогибов [8]. За ней в позднем мезозое на Северном Сахалине располагался тыловой прогиб, сложенный терригенными, кремнистыми и карбонатными породами с от-

дельными прослоями вулканического материала.

Формирование впадины Дерюгина можно представить следующим образом. Примерно 100 млн лет назад океаническая литосфера Охотского моря погружалась под Сахалин, восточная часть которого составляла островную дугу. За ней, в районе западного Сахалина, располагался бассейн, в который в поздне меловое—раннепалеогеновое время сносились песчано-глинистые отложения, впоследствии образовавшие фундамент Северо-Сахалинского нефтегазоносного бассейна. Вдоль восточного Сахалина во время субдукции располагался глубоководный желоб, заполняемый рыхлыми осадками. Около 10–15 млн лет назад погружение литосферы Охотского моря под Сахалин, по-видимому, завершилось в связи с развитием в Татарском проливе рифтовых центров расширения, а на восточной части острова образовались надвиговые структуры. Остатки субдукционной зоны установлены геологическими и подтверждены сейсмическими, гравиметрическими и магнитометрическими исследованиями. На месте древнего глубоководного желоба образовалась впадина Дерюгина, где в кайнозойскую эру скопились мощные вулканогенно-осадочные породы, содержащие залежи углеводородов. Под корой сформировался астеносферный диапир расплавленного вещества. Содержащиеся в нем флюиды, включающие водно-углеводородные, рудные и водно-углекислые компоненты, способствовали возникновению месторождений нефти и газа.

Северо-Сахалинский нефтегазоносный бассейн располагается над древней (мезозойской) субдукционной зоной. Он заполнен кайнозойскими отложениями мощностью до 12 км, в которых выделяется несколько структурно-стратиграфических комплексов. Нижнеолигоценый, общей мощностью более





Глубинное строение впадины Дерюгина и Северо-Сахалинского нефтегазоносного бассейна и распределение измеренных значений теплового потока (вверху) вдоль профиля (показан справа). Механизмы очагов землетрясений показывают ориентацию в пространстве областей сжатия (незакрашенная часть кружка) и растяжения (закрашенная часть), возникающих в эпицентре землетрясения. Впадина Дерюгина образовалась в кайнозойскую эпоху на месте глубоководного желоба, а Северо-Сахалинский нефтегазоносный бассейн сформировался на месте позднемелового задугового бассейна.

Глубинное строение осадочных впадин в Охотском море. Вверху — батиметрия; в центре — подошва коры (поверхность Мохо); внизу — астеносфера, красным показаны очаги магмообразования. Астеносфера под Охотским морем находится на глубине примерно 70 км. Из нее выходят диапиры, содержащие углеводородные и рудные флюиды. Над ними расположены осадочные бассейны.

2 км, слагает узкие грабены в западной и юго-восточной частях бассейна. Позднеолигоценый представлен батиальными кремнисто-глинистыми отложениями мощностью до 1.5 км. В миоценовую и плиоценовую эпохи сформировались мощные толщи (до 10 км в отдельных грабенах) песчано-глинистых отложений. В результате плиоцен-четвертичной тектонической активизации образовались слабоинтенсивные пологие пликвативные структуры.

В Северо-Сахалинском бассейне сосредоточены основные нефтегазовые месторождения

Сахалина. Нефтематеринскими породами служат глинистые, глинисто-кремнистые и терригенные образования олигоцен-миоцена, а также, вероятно, вулканогенно-кремнистые отложения мезозойского складчатого фундамента. Роль ловушек нефти и газа играют многочисленные антиклинали, тяготеющие к зонам линейных разломов.

Толщина коры в этом регионе составляет примерно 30–35 км. Тепловой поток характеризуется средними значениями; астеносфера, по данным электромагнитных исследований, прослеживается на глубине около 70 км.

Северо-Сахалинский осадочный бассейн располагается над древней субдукционной зоной, активной в мезозойскую эру, поэтому породы мезозойского фундамента, сформировавшиеся в условиях задугового бассейна, могут быть благоприятными для генерации, аккумуляции и консервации углеводородов.

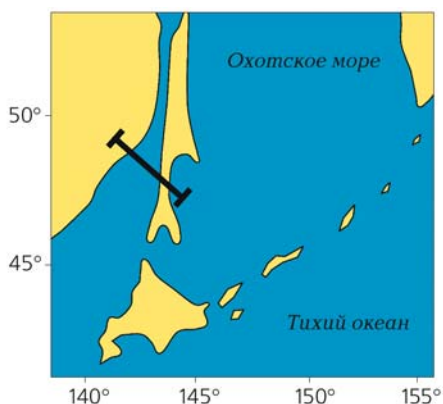
Татарский пролив представляет собой крупный прогиб (рифт) протяженностью 1200 км и шириной 60–300 км. С запада и востока его обрамляют горстковые сооружения Сихотэ-Алиня и Западно-Сахалинских гор. Прогиб заполнен мезозойско-

кайнозойскими осадочными и вулканогенно-осадочными породами.

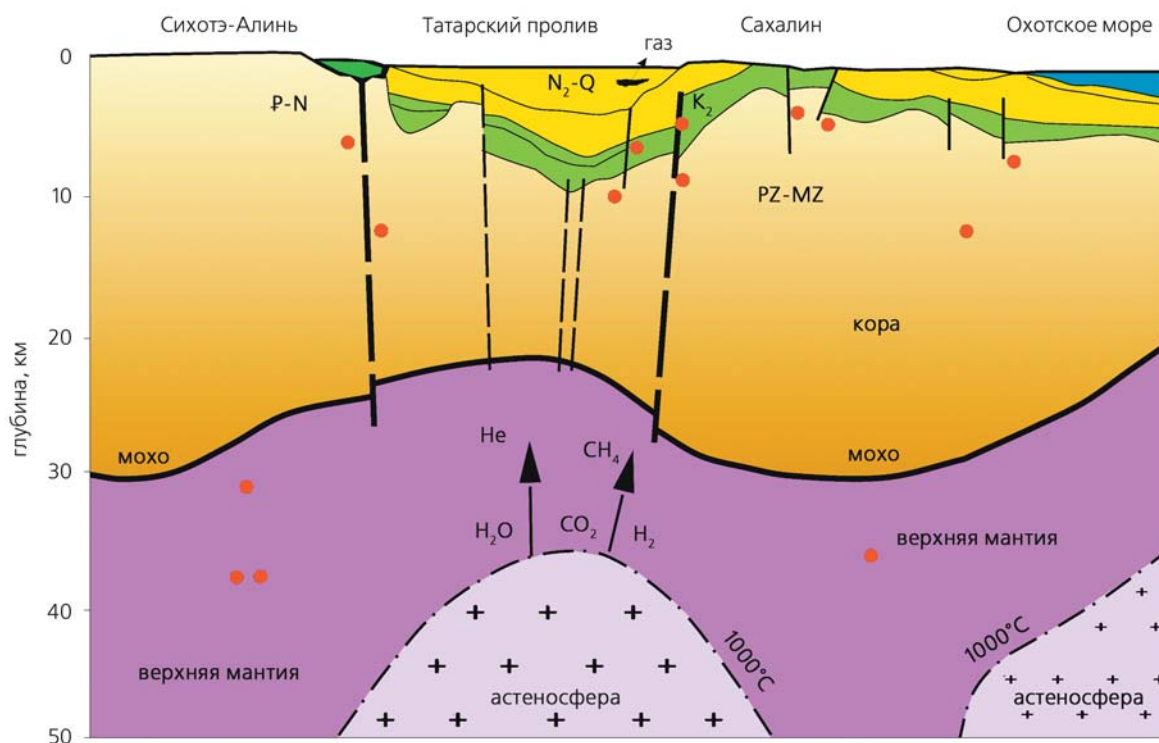
В районе Западно-Сахалинских гор кайнозойские отложения круто (50–80°) наклонены на запад, сильно нарушены сбросовыми и взбросовыми дислокациями. Перемещения по разломам колеблются от десятков и сотен метров до нескольких километров. С зоной разломов связаны вулканы, действовавшие 5–10 млн лет назад.

Как показывают сейсмические исследования, Татарский прогиб имеет асимметричное строение. Его наибольшая глу-

бина (8–10 км) приходится на присахалинскую часть. Отчетливо выражены глубинные разломы, рассекающие земную кору. Современная тектоническая активность подчеркивается высоким тепловым потоком, магматической деятельностью и сейсмическими проявлениями. Рифт Татарского пролива является северным продолжением спредингового центра, расположенного в глубоководной котловине Японского моря. Под осадочным прогибом в верхней мантии, по геотермическим данным, установлен горячий астеносферный диапир, подъем которого



Глубинное строение осадочного прогиба Татарского пролива. Красные кружки — положение очагов землетрясений. Вертикальные линии — разломы. Под действием астеносферного диапира, сформировавшегося около 80 млн лет назад, образовался прогиб, заполненный вулканогенно-осадочными породами, содержащими залежи углеводородов. Вверху — схема, показывающая положения профиля.



обусловил раскол земной коры, образование рифтовых структур, проявление магматической активности и прогрев осадочной толщи. Он стал дополнительным источником углеводородов и флюидных потоков, обеспечивающих активную гидротермальную деятельность и способствующих формированию месторождений нефти и газа в осадочных породах Татарского пролива.

Курильская котловина

Охотского моря относится к молодым задуговым впадинам. Толщина коры здесь около 8–10 км, из них 4 км составляет осадочный чехол. По сейсмическим данным, он подразделяется на два комплекса. Отложения верхнего плиоцен-четвертичного комплекса мощностью до 800–1000 м сложены переслаивающимися турбидитами и вулканогенными породами. Нижний комплекс мощностью свыше 3000 м представлен олигоцен-миоценовыми, преимущественно глинистыми, породами с редкими прослоями вулканогенного материала. Осадочная толща залегает на фундаменте, состоящем из базальтов и их туфов, чередующихся с вулканогенно-осадочными и кремнистыми образованиями.

Впадина разбита разломами на отдельные грабены. В западной ее части установлены остатки древней субдуцированной плиты Охотского моря. Примерно 100 млн лет назад океаническая кора Курильской котловины подвигалась под континентальную кору Сахалина, о чем свидетельствуют развитые здесь офиолитовые комплексы. В центральной части Курильской котловины фиксируется рифтовая структура. Разломы, формирующие ее, проникают в верхнюю мантию, в зону с аномально низкой плотностью пород. На глубине от 30 до 65 км в верхней мантии методами электромагнитной разведки выделен слой с частичным плавлением вещества. Для впадины характерен высокий тепловой поток. Уже на глу-

бине 25 км температура достигает 1200°.

Выделенная область аномальной мантии, по-видимому, представляет собой поднимающийся астеносферный диапир. Над ним, на вершинах подводных вулканов, приуроченных к осложняющим восточный борт впадины разломам, установлена сульфидная минерализация.

Осадочный бассейн в Японском море

Толщина земной коры в Японском море меняется от 35–40 км на окраинах до 12–15 км в центральной глубоководной котловине. Наиболее важно для региона — распространение под Японским морем и вулканической дугой о.Хонсю астеносферного слоя, там, где последние 20–30 млн лет происходила интенсивная магматическая деятельность. Скважины, пробуренные с судна «ДЖОИДЕС Резольюшн», показали, что дно глубоководной впадины сложено базальтовыми потоками миоценового возраста, близкими по химическому составу к толеитам срединно-океанических хребтов. В прилегающих районах Приморья и Тихого океана слои с пониженными скоростями выражены слабо. В северо-западной котловине Тихого океана мантия уплотнена, астеносфера незначительной мощности расположена на глубине 100 км. Котловина характеризуется низкими значениями теплового потока, а магматическая деятельность проявилась, в основном, в мезозое.

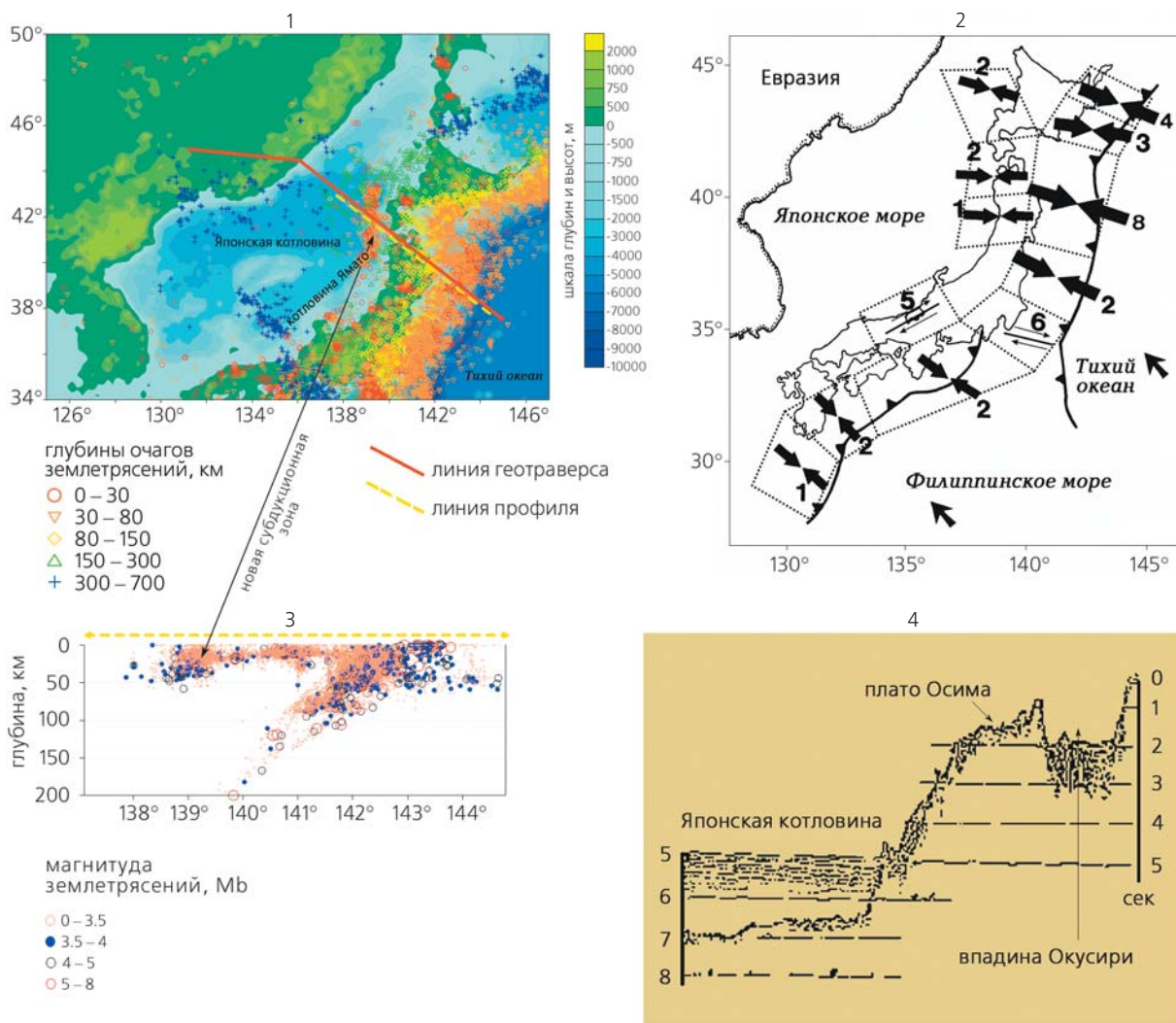
В Японском море, отличающемся повышенным (по сравнению с прилегающими районами) тепловым потоком, астеносферный слой мощностью свыше 100 км расположен, по сейсмическим данным, на глубине около 50 км и, по геотермическим, — на глубине 30 км. Японские ученые в этой глубоководной котловине, по магнитным данным, выделили спрединг-центры, ко-

торые действовали 25–15 млн лет назад, но вероятно активизировавшиеся в наше время. Вдоль восточной окраины впадины (вдоль западного побережья о-вов Хонсю и Хоккайдо) развивается новая субдукционная зона. Здесь выявлен сложный подводный рельеф [9]. Вдоль побережья прослеживается хребет Окусири, ограничивающий котловину Японского моря от осадочного прогиба Окусири. Параллельно подводному хребту прослеживается полоса очагов землетрясений, образующих сейсмофокальную зону, погружающуюся под Японскую островную дугу. С новой субдукционной зоной японские ученые связывают образование хребта сжатия, осадочного трога, трещин растяжения, отложений турбидитовых потоков, уступов и других нарушений форм рельефа [10].

Предполагается, что образование хребта Окусири произошло в результате сжатия и вздымания океанической коры 1.8 млн лет назад. Около 2 млн лет назад началась субдукция литосферы Японского моря под Японские острова. За это время погружение литосферы, сопровождавшееся сильными землетрясениями, достигло 50 км. В результате были образованы подводный хребет и узкий осадочный бассейн, где мощность отложений достигает 2 км. Нефтегазообразованию здесь несомненно способствовали содержащие углеводороды флюиды, исходящие из астеносферного слоя.

Впадины Северо-Китайской равнины и Филиппинского моря

Северо-Китайская равнина составляет часть древней Китайско-Корейской платформы, возникшей 1900–1700 млн лет назад. Средне-позднепротерозойские отложения образуют чехол переходного типа, кембрийские и ордовикские породы представлены мелководными



Новый осадочный прогиб глубиной 50 км в Японском море.

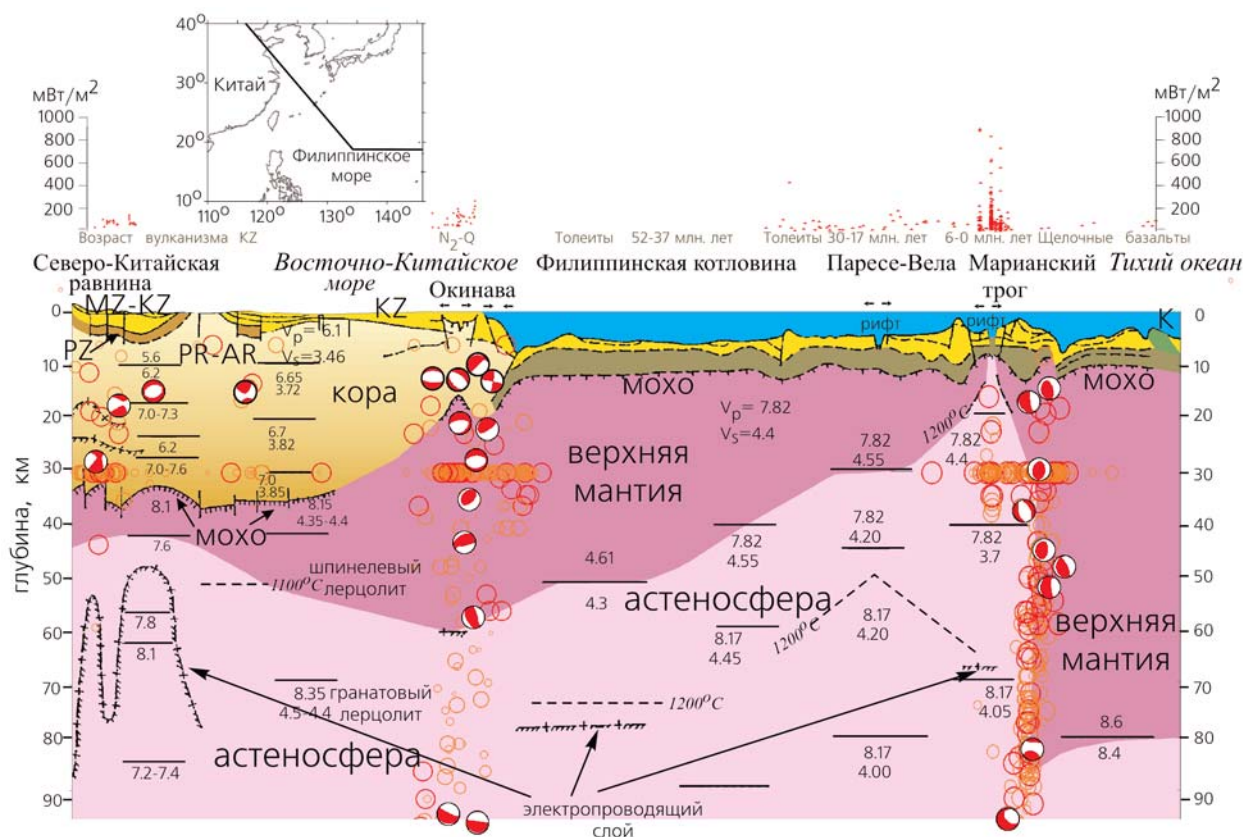
1 — положение геотраверса, сейсмического профиля и распределение землетрясений на батиметрической карте; 2 — области напряжений в коре Японской островной дуги [10], стрелки показывают направления движения плит, цифры — скорости их движения (см/год); 3 — распределение очагов землетрясений вдоль профиля; 4 — сейсмический разрез в районе образования прогиба [9].

карбонатными отложениями. От позднего ордовика и до раннего карбона (примерно 80 млн лет) в осадконакоплении отмечается перерыв, для которого характерна активизация глубинных процессов, выразившаяся в формировании кимберлитовых тел. В среднем и позднем карбоне проявилась морская трансгрессия с образованием паралических угольных серий. В раннепермскую эпоху накопились флювиально-озерные отложения, а в позднепермское-

триасовое время установились континентальные условия с накоплением красноцветных фаций. Индосинийские движения (T_2-J_1) характеризовались магматизмом основного, щелочного и, главным образом, кислого состава. Яньшанские движения (J_1-K_2) отличались внедрением гранитных тел и кимберлитов, излияниями эффузивов известково-щелочного состава [6].

Для понимания глубинного строения региона использовались материалы, полученные по

международному проекту «Геотраверс» российско-японско-китайского научного сотрудничества [11], программа которого была разработана в Геофизическом центре РАН. Анализ геофизических и геологических данных показал, что толщина литосферы Северо-Китайской равнины — 50–100 км, Западно-Филиппинской котловины — 50–80 км, котловины Паресе-Вела — 30 км и Марианского трога — 10 км. Результаты расчетов глубинных температур вдоль гео-



Геотраверс Северо-Китайская равнина — Филиппинское море. Вверху — схема положения профиля и распределение вдоль него измеренных значений теплового потока. Горизонтальные линии — границы, по сейсмическим данным (V_p — скорости продольных волн, V_s — поперечных волн). Кружки — механизмы очагов землетрясений. Пунктирные линии — глубинные температуры, по геотермическим данным. Горизонтальные стрелки показывают направление движения геологических структур.

Показано соотношение между глубинным строением верхней мантии и строением поверхностных геологических структур. Чем выше уровень залегания астеносферы, тем большая плотность теплового потока и более молодой возраст формирования глубоководных осадочных впадин. Под Марианским трогом, образованным 6 млн лет назад, астеносфера подступает к коре. Под миоценовой котловиной Паресе-Вела она расположена на глубине 30 км, а под эоценовой Западно-Филиппинской котловиной — на глубине 50–80 км. Под Северо-Китайской равниной с ее нефтегазоносными осадочными бассейнами, активизировавшейся в кайнозойское время, астеносферный диапир расположен на глубине 50–70 км.

траверса свидетельствуют: чем древнее литосфера, тем глубже расположены изотермы. Наиболее высокое положение изотермы 1000–1200°C занимают под современными рифтовыми структурами Марианского трога, достигая здесь подошвы земной коры. В пределах миоценовой котловины Паресе-Вела они находятся на глубине 30 км, а под древней эоценовой Западно-Филиппинской котловиной — на глубине около 60 км, соответствующему положению зоны возможно-

го подплавления, выделенной на основании повышенной электропроводности.

Древняя докембрийская платформа в кайнозой испытала тектоническую активизацию. Несколько эпох растяжения привели к формированию внутрикратонных грабенов, выполненных нефтеносными отложениями. Система грабенов выражена в глубинном строении сокращением мощности коры, высоким тепловым потоком и локализацией сейсмичности. Выделены

три этапа магматической деятельности. В палеогене, примерно 60 млн лет назад, произошел подъем астеносферного диапира, приведший к расколу литосферы, образованию грабенов с излиянием толеитовых базальтов и накоплению грубообломочных пород. В неогене последовало погружение астеносферы до глубины примерно 70 км. В тот период на поверхность изливалась более щелочная магма, происходило накопление песчано-глинистого материала с об-

разованием основных нефтяных месторождений Северо-Китайской равнины. В современное время проявились щелочные базальты, формирующие отдельные вулканические конусы, магматические очаги которых располагаются на глубинах свыше 100 км. По результатам глубинного сейсмического зондирования, средняя толщина коры Северо-Китайской равнины около 35 км. Поверхность Мохоровичича неровная с относительными поднятиями под грабенами.

Самый изученный район Северо-Китайской равнины — залив Бохайвань Желтого моря. Это наиболее важная нефтяная и газовая провинция Восточного Китая. Грабеновые структуры, развитые в палеогеновых отложениях, образовались в результате корового растяжения, происходившего под действием подъема мантийного вещества. Растяжение коры в палеогеновое время привело к извержению базальтовой магмы, лавовые потоки которой слагают совместно с осадочными породами эоценовые и олигоценные формации. В неоген-четвертичное время эти рифтовые структуры были перекрыты осадками. Таким образом, сформировались осадочные бассейны Желтого моря.

Марианский трог, находящийся в Филиппинском море, представляет собой междууговой бассейн, образованный в резуль-

тате спрединговых процессов 6 млн лет назад. С рифтовыми структурами связаны излияния толеитовых базальтов и интенсивная гидротермальная деятельность. Отмечаются высокие значения теплового потока. Благодаря исследованиям американских ученых на подводном аппарате «Alvin» в 1987 г., обнаружены гидротермальные источники с температурой воды, достигающей 285°C. Во время глубоководного бурения с научно-исследовательского судна «Glomar Challenger» и при драгировании с судна «Nakuho-Maru» была отмечена гидротермальная активность с образованием сульфидов цинка, меди и железа. Пробы воды показали высокое содержание гелия, водорода и метана. Такие же газы ранее устанавливали в срединно-океанических хребтах. Трог характеризуется относительно тонкой корой (около 10 км). Горячая астеносфера подступает непосредственно к подошве коры, обуславливая активные тектонические и магматические процессы. Марианский трог, вероятно, представляет собой пример начального этапа формирования осадочного бассейна.

* * *

Итак, изученные нами осадочные бассейны окраинных морей отличаются аномальным глубинным строением. Для них характерны: рифтовые структу-

ры или спрединговые центры; активный магматизм в начальной стадии образования; гидротермальная деятельность, сопровождающаяся формированием сульфидов; высокая плотность теплового потока, вызванная подъемом астеносферных диапиров. Последние служат каналами, по которым горячие флюиды, несущие продукты дегазации мантии (в том числе и углеводороды), проникают в осадочные бассейны и способствуют преобразованию в них органического вещества.

Осадочные бассейны связаны с древними и молодыми субдукционными зонами. В результате субдукции породы мезозойского фундамента, которые часто включают и гранитные массивы, образовавшиеся в задуговых бассейнах, насыщались мантийными флюидами, содержащими углеводороды. Формирование месторождений углеводородов в тыловых спрединговых зонах обусловлено благоприятной геодинамической обстановкой задуговых бассейнов, которые характеризуются развитием растягивающих тектонических напряжений и подъемом аномально горячих астеносферных диапиров, обогащенных летучими и жидкими компонентами. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-05-64400.

Литература

1. Соколов Б.А. Эволюция и нефтегазоносность осадочных бассейнов. М., 1984.
2. Баженова О.К., Бурлин Ю.К., Соколов Б.А., Хаин В.Е. Геология и геохимия нефти и газа. М., 2000.
3. Родников А.Г., Сергеева Н.А., Забаринская Л.П. Глубинное строение осадочных впадин переходной зоны от Азиатского континента к Тихому океану // Геофизика XXI столетия. М., 2001. С.102—111.
4. Rodnikov A.G., Sergeeva N.A., Zabarinskaya L.P. // Russian Journal of Earth Sciences. 2001. V.3. №4. P.293—310.
5. Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ / Отв. ред. А.Н.Дмитриевский, Б.М.Валяев. М., 2002.
6. Шлезингер А.Е. Осадочные бассейны и сейсмостратиграфические параметры их выделения // Проблемы глобальной геодинамики / Ред. Д.В.Рундквист. М., 2000. С.137—145.
7. Cruise Reports: Komex V and VI Kuril and Okhotsk Sea Marine Experiment / Eds N.Biebow, T.Ludmann, B.Karp, R.Kulinich. Kiel, 2000.
8. Гранник В.М. // Докл. АН. 1999. Т.366. №1. С.79—83.
9. Tanaki K., Honza E. // Tectonophysics. 1985. V.119. №1—4. P.381—406.
10. Karatzi A.A., Papazachos C.B. // Seismological Soc. Amer. Bull. 1996. V.86. №3. P.821—831.
11. Геотраверс Северо-Китайская равнина — Филиппинское море — Марианский желоб / Отв. ред. А.Г.Родников, Н.Иседзаки, Ц.Сики и др. М., 1991.

Генетическое разнообразие народов

С.А.Боринская

Люди, живущие в разных концах Земли, отличаются по многим признакам: языковой принадлежности, культурным традициям, внешности, генетическим особенностям. Генетические характеристики народов зависят от их истории и образа жизни. Различия между ними возникают в изолированных популяциях, не обменивающихся потоками генов (т.е. не смешивающихся из-за географических, лингвистических или религиозных барьеров), за счет случайных изменений частот аллелей и процессов позитивного и негативного естественного отбора.

Случайное изменение частот аллелей в популяции называется генетическим дрейфом. Различия этих частот без действия каких-либо дополнительных факторов обычно невелики. При сокращении численности или отселении небольшой группы, дающей начало новой популяции, частоты аллелей могут сильно колебаться. В новой популяции они будут зависеть от генофонда основавшей ее группы (так называемый эффект основателя — все носители мутации получают ее от общего предка, у которого она возникла). С этим эффектом связывают повышенную частоту болезнетворных мутаций в некоторых этнических группах. Например, у японцев один из видов врожденной глухоты вызывается мутацией, возникшей однократно в прошлом и не встречающейся в других районах мира. У белых



Светлана Александровна Боринская, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории анализа генома Института общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН. Основные научные интересы связаны с общими закономерностями биологической и социальной эволюции и геномикой человека.

австралийцев глаукома связана с мутацией, завезенной переселенцами из Европы. У исландцев найдена мутация, повышающая риск развития рака и восходящая к общему прародителю. Аналогичная ситуация обнаружена у жителей о.Сардиния, но у них мутация другая, отличная от исландской. Среди русских, живущих в Башкортостане, из нескольких сотен мутаций, приводящих к фенилкетонурии, встречается преимущественно одна, что связывают с переселением в этот регион относительно небольшой группы русских, обладавших ею. Эффект основателя — одно из возможных объяснений отсутствия у американских индейцев разнообразия по группам крови АВО: у них преобладает группа О (первая), частота ее более 90%, а во многих популяциях — 100%. Так как Америка заселялась небольшими группами, пришедшими из Азии через перешеек, соединявший эти материи десятки тысяч лет назад, возможно, что в популяции, давшей начало коренному

населению Нового Света, другие группы крови отсутствовали.

Слабовредные мутации могут долго поддерживаться в популяции, а вредные, значительно снижающие приспособленность индивида, отсеиваются отбором. Показано, что болезнетворные мутации, вызывающие тяжелые формы наследственных заболеваний, обычно эволюционно молоды. Давно возникшие мутации, длительное время сохраняющиеся в популяции, связаны с более легкими формами болезни.

Адаптация к условиям обитания фиксируется в ходе отбора благодаря случайно возникшим новым аллелям, повышающим приспособленность к данным условиям, или за счет изменения частот давно существующих аллелей. Разные аллели обуславливают варианты фенотипа, например цвета кожи или уровня холестерина крови. Частота аллеля, обеспечивающего адаптивный фенотип (например, темная кожа в зонах с интенсивным солнечным облучением), возрастает, поскольку его носи-



Схема взаимодействия генофонда, хозяйственно-культурных особенностей общества и природной среды.

тели более жизнеспособны в данных условиях.

Адаптация к различным климатическим зонам проявляется как вариация частот аллелей комплекса генов, географическое распределение которых соответствует климатическим зонам. Однако наиболее заметный след в глобальном распределении генетических изменений оставили миграции народов, связанные с расселением от африканской прародины.

Происхождение и расселение человека

Ранее историю появления вида *Homo sapiens* на Земле реконструировали на основе палеонтологических, археологических и антропологических данных. В последние десятилетия появление молекулярно-генетических методов и исследования генетического разнообразия народов позволили уточнить многие вопросы, связанные с происхождением и расселением людей современного анатомического типа.

Молекулярно-генетические методы, используемые для вос-

становления демографической истории, сходны с лингвистической реконструкцией праязыка. Время, когда два родственных языка разделились (т.е. когда исчез их общий предковый праязык), оценивают по количеству различающихся слов, появившихся за период раздельного существования этих языков. Аналогично возраст предковой популяции, общей для двух современных народов, рассчитывают по количеству мутаций, накопившихся в ДНК их представителей. Чем больше различий в ДНК, тем больше времени прошло с момента разделения популяций. Так как скорость накопления мутаций в ДНК известна, по числу мутаций, отличающих две популяции, можно определить дату их расхождения (если предположить, что после разделения они больше не встречались и не смешивались).

Для датировки этого события используют нейтральные мутации, которые не влияют на жизнеспособность индивида и не подвержены действию естественного отбора. Они найдены во всех участках генома человека, но наиболее часто используют мутации в ДНК, содержащейся в клеточных органеллах —

митохондриях. В оплодотворенной яйцеклетке присутствует только материнская митохондриальная ДНК (мтДНК), поскольку спермий свои митохондрии яйцеклетке не передает. Для филогенетических исследований мтДНК имеет особые преимущества. Во-первых, она не подвергается рекомбинации, как аутосомные гены, что значительно упрощает анализ родословных. Во-вторых, в клетке она содержится в количестве нескольких сот копий и гораздо лучше сохраняется в биологических образцах.

Первым использовал мтДНК для реконструкции истории человечества американский генетик Алан Уилсон в 1985 г. Он изучил образцы мтДНК, полученные из крови людей из всех частей света, и на основе выявленных между ними различий построил филогенетическое древо человечества. Оказалось, что все современные мтДНК могли произойти от мтДНК одной прамамы, жившей в Африке. Обладательницей предковой мтДНК тут же окрестили «митохондриальной Евой», что породило неверные толкования — будто все человечество произошло от одной-единственной женщины. На самом деле у «Евы» было несколько тысяч соплеменниц, просто их мтДНК до наших времен не дошли. Однако все они, без сомнения, оставили свой след: от них мы унаследовали генетический материал хромосом. Характер наследования в данном случае можно сравнить с семейным имуществом: деньги и земли человек может получить от всех предков, а фамилию — только от одного из них. Генетическим аналогом фамилии, передаваемой по женской линии, служит мтДНК, а по мужской — Y-хромосома, передаваемая от отца к сыну.

Изучение мтДНК и ДНК Y-хромосомы подтвердили африканское происхождение человека, позволили установить пути и даты его миграции на основе распространения различных

мутаций у народов мира. По современным оценкам, вид *H.sapiens* появился в Африке более 100 тыс. лет назад, затем расселился в Азии, Океании и Европе. Позже всего была заселена Америка.

Вероятно, исходная предковая популяция *H.sapiens* состояла из небольших групп, ведущих жизнь охотников-собирателей. Мигрируя, люди несли с собой свои традиции, культуру и свои гены. Возможно, они также обладали и праязыком. Пока лингвистические реконструкции происхождения языков мира ограничены 15–30 тыс. лет, и существование общего праязыка только предполагается. И хотя гены не определяют ни язык, ни культуру, в некоторых случаях генетическое родство народов совпадает и с близостью их языков и культурных традиций. Но есть и противоположные примеры, когда народы меняли язык и перенимали традиции своих соседей. Такая смена происходила чаще в районах контактов различных волн миграций или же в результате социально-политических изменений или завоеваний.

Конечно, в истории человечества популяции не только разделялись, но и смешивались. На примере линий мтДНК результаты такого смешения можно наблюдать у народов Волго-Уральского региона. Здесь столкнулись две волны расселения, европейская и азиатская. В каждой из них к моменту встречи на Урале в мтДНК успели накопиться десятки мутаций. У народов Западной Европы азиатские линии мтДНК практически отсутствуют. В Восточной Европе они встречаются редко: у словаков с частотой 1%, у чехов, поляков и у русских Центральной России — 2%. По мере приближения к Уралу частота их возрастает: у чувашей — 10%, у татар — 15%, у разных групп башкир — 65–90%. Закономерно, что у русских Волго-Уральского региона количество азиатских линий больше (10%), чем в Центральной России.

Адаптация к различным условиям обитания

При изменении условий среды (температуры, влажности, интенсивности солнечного облучения) человек приспосабливается за счет физиологических реакций (потоотделения, загара и т.п.). Однако в популяциях, проживающих долгое время в определенных климатических условиях, адаптации к ним накапливаются на генетическом уровне. Они меняют внешние признаки, сдвигают границы физиологических реакций (например, скорость сужения сосудов конечностей при охлаждении), «подстраивают» биохимические параметры (такие, как уровень холестерина в крови) к оптимальным для данных условий.

Климат. Один из наиболее известных расовых признаков — цвет кожи, пигментация которой у человека задана генетически. Пигментация защищает от повреждающего действия солнечного облучения, но не должна препятствовать получению минимальной дозы облучения, необходимой для образования витамина Д, предотвращающего рахит. В северных широтах, где низкая интенсивность облучения, у людей кожа более светлая, а в экваториальной зоне самая темная. Однако у обитателей затененных тропических лесов кожа светлее, чем можно было бы ожидать на данной широте, а у некоторых северных народов (чукчей, эскимосов), напротив, она относительно сильно пигментирована. В последнем случае это объясняется либо поступлением витамина Д с пищей (рыбой и печенью морских животных), либо недавней в эволюционном масштабе миграцией северных групп из более низких широт.

Таким образом, интенсивность ультрафиолетового излучения действует как фактор отбора, приводя к географическим вариациям в цвете кожи. Светлая кожа эволюционно бо-

лее поздний признак и возникла за счет мутаций в нескольких генах, регулирующих выработку кожного пигмента меланина (ген рецептора меланинокортина MC1R и другие). Способность загорать также детерминирована генетически. Ею отличаются жители регионов с сильными сезонными колебаниями интенсивности солнечного излучения.

Известны связанные с климатическими условиями различия в строении тела. Это адаптации к холодному или теплomu климату. Так, короткие конечности у жителей арктических областей (чукчей, эскимосов) уменьшают отношение поверхности тела к его массе и тем самым сокращают теплоотдачу. Обитатели жарких сухих регионов, например африканские масаи, напротив, отличаются длинными конечностями. У жителей влажного климата более широкие и плоские носы, а в сухом холодном климате нос более длинный, что способствует согреванию и увлажнению вдыхаемого воздуха.

Повышенное содержание гемоглобина в крови и усиление легочного кровотока служат приспособлением к высокогорным условиям. Такие особенности свойственны аборигенам Памира, Тибета и Анд. Все эти признаки определяются генетически, но степень их проявления зависит от условий развития в детстве: например, у андских индейцев, выросших на уровне моря, они менее выражены.

Типы питания. Некоторые генетические изменения связаны с разными типами питания. Среди них наиболее известна непереносимость молочного сахара лактозы — гиполактазия. У детенышей всех млекопитающих для усвоения лактозы вырабатывается фермент лактаза. По окончании вскармливания она исчезает из кишечного тракта детеныша. Отсутствие фермента у взрослых — исходный, предковый признак для человека.

Во многих азиатских и африканских странах, где взрослые традиционно не пьют молоко, после пятилетнего возраста лактаза не синтезируется, и потому употребление молока приводит к расстройству пищеварения. Однако большинство взрослых европейцев могут без вреда для здоровья пить молоко: синтез лактазы у них не прекращается из-за мутации в участке ДНК, регулирующем образование фермента. Эта мутация распространилась после появления молочного скотоводства 9–10 тыс. лет назад и встречается преимущественно у европейских народов. Более 90% шведов и датчан способны усваивать молоко, и лишь небольшая часть населения Скандинавии отличается гиполактазией. В России частота гиполактазии составляет около 30% для русских и более 60–80% для коренных народов Сибири и Дальнего Востока. Народы, у которых гиполактазия сочетается с молочным скотоводством, традиционно используют не сырое молоко, а кисломолочные продукты, в которых молочный сахар уже расщеплен бактериями.

Отсутствие сведений о генетических особенностях народов порой приводит к тому, что при гиполактазии людям, реагирующим на молоко расстройством пищеварения, которое принимают за кишечные инфекции, вместо необходимого изменения диеты предписывают лечение антибиотиками, ведущее к дисбактериозу.

Кроме употребления молока, еще один фактор мог влиять на сохранение у взрослых синтеза лактазы. В присутствии лактазы молочный сахар способствует усвоению кальция, выполняя те же функции, что и витамин Д. Возможно, именно поэтому у северных европейцев мутация, о которой идет речь, встречается чаще всего. Это пример генетической адаптации к взаимодействующим пищевым и климатическим факторам.

Еще несколько примеров. Эскимосы при традиционном питании обычно потребляют до 2 кг мяса в день. Переварить такие количества мяса можно лишь при сочетании определенных культурных (кулинарных) традиций, микрофлоры определенного типа и наследственных физиологических особенностей пищеварения.

У народов Европы встречается целиакия — непереносимость белка глютена, содержащегося в зернах ржи, пшеницы и других злаков. Она вызывает при потреблении в пищу злаков множественные нарушения развития и умственную отсталость. Заболевание на порядок чаще встречается в Ирландии, чем в странах континентальной Европы, вероятно, потому, что в ней пшеница и другие злаки традиционно не были основными продуктами питания.

У жителей Североазиатского региона часто отсутствует фермент трегалаза, расщепляющий углеводы грибов. Эта наследственная особенность сочетается с культурной: в этих местах грибы считаются пищей оленей, не пригодной для человека.

Для жителей Восточной Азии характерна другая наследственная особенность обмена веществ. Известно, что многие монголоиды даже от небольших доз спиртного быстро пьянеют и могут получить сильную интоксикацию. Это связано с накоплением в крови этилового альдегида, образующегося при окислении алкоголя ферментами печени. Известно, что алкоголь окисляется в печени в два этапа: сначала превращается в токсичный этиловый альдегид, а затем окисляется с образованием безвредных продуктов, которые выводятся из организма. Скорость работы ферментов первого и второго этапов (алкогольдегидрогеназы и ацетальдегидрогеназы) задается генетически. Для коренного населения Восточной Азии характерно сочетание «быстрых» ферментов первого этапа с «медленными»

ферментами второго этапа. В этом случае при приеме спиртного этанол быстро перерабатывается в альдегид (первый этап), а его дальнейшее удаление (второй этап) происходит медленно. Такая особенность связана с сочетанием двух мутаций, влияющих на скорость работы упомянутых ферментов. Предполагается, что высокая частота этих мутаций (30–70%) есть результат адаптации к неизвестному пока фактору среды.

Приспособления к типу питания связаны с комплексами генетических изменений, многие из которых пока детально изучены на уровне ДНК. Известно, что около 20–30% жителей Эфиопии и Саудовской Аравии способны быстро расщеплять некоторые пищевые вещества и лекарства, в частности, амитриплин, благодаря наличию двух или более копий гена, кодирующего один из видов цитохромов — ферментов, разлагающих чужеродные вещества, поступающие в организм с пищей. У других народов удвоение данного гена цитохрома встречается с частотой не более 3–5%, и распространены неактивные варианты гена (от 2–7% у жителей Европы и до 30% в Китае). Возможно, число копий гена увеличивается из-за особенностей диеты (использования больших количеств перца или съедобного растения тефф, составяющего до 60% продуктов питания в Эфиопии и нигде больше не распространенного в такой степени). Однако определить, где причина, а где следствие, в настоящее время невозможно. Случайно ли увеличение в популяции носителей множественных генов позволило людям есть какие-то особые растения? Или, наоборот, употребление перца (или другой пищи, для усвоения которой необходим цитохром) послужило фактором отбора индивидов с удвоенным геном? Как тот, так и другой процесс мог иметь место в эволюции популяций.

Очевидно, что пищевые традиции народа и генетические факторы взаимодействуют. Употребление той или иной пищи становится возможным лишь при наличии определенных генетических предпосылок, а диета, ставшая традиционной, действует как фактор отбора, влияя на частоту аллелей и распространение в популяции наиболее адаптивных при таком питании генетических вариантов.

Традиции обычно меняются медленно. Например, переход от собирательства к земледелию и соответственно смена диеты и образа жизни осуществлялись на протяжении десятков поколений. Относительно медленно происходят и сопровождающие такие события изменения генофонда популяций. Частоты аллелей могут колебаться на 2–5% за поколение, из-за чего одни аллели постепенно накапливаются, а другие — исчезают. Однако другие факторы, например, эпидемии, часто связанные с войнами и социальными кризисами, могут в несколько раз поменять частоты аллелей в популяции на протяжении жизни одного поколения за счет резкого снижения численности популяции. Так, завоевание Америки европейцами привело к гибели до 90% коренного населения, и эпидемии внесли больший вклад, чем войны.

Устойчивость к инфекционным заболеваниям

Оседлый образ жизни, развитие земледелия и скотоводства, повышение плотности населения способствовали распространению инфекций и появлению эпидемий. Так, туберкулез — изначально болезнь крупного рогатого скота — человек приобрел после одомашнивания животных. С ростом городов заболевание стало эпидемиологически значимым, что сделало актуальной устойчивость к инфекции, также имеющей генетический компонент.

Наиболее подробно изученный пример подобной устойчивости — распространение в тропической и субтропической зонах болезни серповидноклеточной анемии, названной из-за серповидной формы эритроцитов, определяемой при микроскопическом анализе крови. Эта наследственная болезнь обусловлена мутацией в гене гемоглобина, приводящей к нарушению его функций. Носители мутации оказались устойчивыми к малярии. В зонах распространения заболевания наиболее адаптивно гетерозиготное состояние: гомозиготы с мутантным гемоглобином погибают от анемии, гомозиготы по нормальному гену болеют малярией, а гетерозиготы, у которых анемия проявляется в мягкой форме, защищены от малярии.

Такие примеры показывают, что платой за повышенную адаптивность гетерозигот может быть гибель на порядок реже встречающихся гомозигот по болезнетворной мутации, которые неизбежно появляются при увеличении ее популяционной частоты.

Еще один пример генетической детерминации восприимчивости к инфекциям — так называемые прионные заболевания. К ним относится губчатая болезнь мозга рогатого скота (коровье бешенство), вспышка которого среди рогатого скота наблюдалась после появления новой технологии переработки костной муки, идущей на корм животным. Инфекция с очень небольшой частотой передается человеку через мясо больных животных. Немногие заболевшие люди оказались носителями редкой мутации, раньше считавшейся нейтральной.

Существуют мутации, защищающие от инфицирования вирусом иммунодефицита человека либо замедляющие развитие болезни после заражения. Две таких мутации встречаются во всех популяциях (с частотой от 0 до 70%), а одна из них — только в Европе (частота 5–18 %).

Предполагается, что эти мутации распространились в прошлом в связи с тем, что обладают защитным эффектом также и в отношении других эпидемиологических заболеваний.

Развитие цивилизации и генетические изменения

Кажется удивительным тот факт, что питание бушменов — охотников-собирателей, живущих в Южной Африке, — оказалось соответствующим рекомендациям ВОЗ по общему балансу белков, жиров, углеводов и витаминов, микроэлементов и калорий. Биологически человек и его непосредственные предки на протяжении сотен тысяч лет адаптировались к образу жизни охотников-собирателей.

Изменение традиционного питания и образа жизни отражается на здоровье людей. Например, афроамериканцы чаще, чем евроамериканцы, болеют гипертонией. У северных народов, традиционная диета которых была богата жирами, переход на европейскую высокоуглеводную диету способствует развитию диабета и других заболеваний.

Преобладавшие ранее представления о том, что с развитием производящего хозяйства (земледелия и скотоводства) здоровье и питание людей неуклонно улучшается, сейчас опровергнуто. После появления земледелия и скотоводства значительное распространение получили многие заболевания, редко встречавшиеся у древних охотников-собирателей или вообще им неизвестные. Сократилась продолжительность жизни (от 30–40 лет до 20–30), в 2–3 раза увеличилась рождаемость и одновременно выросла абсолютная детская смертность, хотя относительный уровень ее, видимо не изменился — лишь 40% живорожденных детей доживали до репродуктивного возраста. Костные останки раннеземледельческих народов го-

раздо чаще имеют признаки перенесенной анемии, недоедания, различных инфекций, чем у доземледельческих народов. Лишь в средневековье наступил перелом и средняя продолжительность жизни стала увеличиваться. Заметное улучшение здоровья населения и снижение детской смертности в развитых странах связано с появлением современной медицины.

Сегодня для земледельческих народов характерны высокоуглеводная и высокохолестериновая диета, использование соли, снижение физической активности, оседлый образ жизни, высокая плотность населения, усложнение социальной структуры. Приспособление популяций к каждому из этих факторов сопровождается генетическими изменениями: адаптивных аллелей становится больше, а неадаптивных меньше, поскольку их носители менее жизнеспособны или менее плодовиты. Например, низкохолестериновая диета охотников-собирателей делает адаптивной для них способность к интенсивному поглощению холестерина из пищи, но при современном образе жизни она становится фактором риска атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний. Эффективное усвоение соли, бывшее полезным при ее недоступности, в современных

условиях превращается в фактор риска гипертонии. При рукотворном преобразовании среды обитания человека популяционные частоты аллелей меняются так же, как и при естественной адаптации.

Рекомендации врачей по поддержанию здоровья — физическая активность, прием витаминов и микроэлементов, ограничение соли и т.п. по сути искусственно воссоздают условия, в которых человек жил большую часть времени своего существования как биологического вида.

Вероятно, что определенные адаптации могли быть связаны и с коллективным образом жизни человека. Так, возросшая частота депрессий в современных обществах западного типа вызвана утратой поддержки родовой группы. В ряде исследований показано, что с разрушением родовой системы снижается выживаемость детей, повышается риск развития заболеваний. Согласно статистике, существенно отличается частота депрессий в разных странах (в европейских она в пять раз выше), а частота шизофрении везде примерно одинакова. Как считают специалисты, генетическая детерминация депрессии довольно велика (30-40%). Можно предположить, что гены, ответственные за предрасположенность к депрессии,

в обществах, где влияние коллектива еще велико, не столь опасны, как в обществе, где человек остается один на один со своими проблемами.

* * *

Итак, на формирование генофондов этнических групп влияет множество процессов: миграции и смешение народов, накопление мутаций в изолированных группах, адаптация популяций к условиям среды. Межпопуляционные (географические, языковые и иные) барьеры способствуют накоплению генетических различий между ними, которые, однако, между соседями обычно не очень значительны. Географическое распределение этих различий отражает континуум меняющихся признаков и меняющихся генофондов. Генетические различия не подразумевают превосходства какой-либо расы, этнической или иной группы, образованной по какому-либо признаку (типу хозяйства или социальной организации). Напротив, они подчеркивают эволюционную ценность разнообразия, позволившую человечеству не только освоить все климатические зоны Земли, но и приспособиться к тем значительным изменениям среды, которые возникли в результате деятельности самого человека. ■

Литература

1. Генофонд и геногеография народонаселения России и сопредельных стран / Под ред. Ю.Г.Рычкова. СПб., 2000.
2. Горбунова В.Н., Баранов В.С. Введение в молекулярную диагностику и генотерапию наследственных заболеваний. СПб., 1997.
3. Лимборская С.А., Хуснутдинова Э.К., Балановская Е.В. Этногеномика и геногеография народов Восточной Европы. М., 2002.
4. Степанов В.А. Этногеномика народов Северной Евразии. Томск, 2002.
5. Evolution in health and disease / Ed. S.C.Stearns. N.Y., 1999.
6. Cavalli-Sforza L.L., Menozzi P., Piazza A. History and Geography of Human Genes, Princeton; N.J., 1994.
7. Кавалли-Сфорца Л.Л. Гены, народы, языки // В мире науки. 1992.
8. Уилсон А.К., Канн Р.Л. Недавнее африканское происхождение людей // В мире науки. 1992.
Научно-популярные статьи (эти и другие статьи представлены на сайте www.vigg.ru в разделе «Программа “Геном человека”»):
9. Боринская С.А., Хуснутдинова Э.К. Этногеномика: история с географией // Человек. 2002. №1. С.19—30.
10. Хуснутдинова Э.К., Боринская С.А. Геномная медицина — медицина XXI века // Природа. 2002. №12. С.3—8.
11. Янковский Н.К., Боринская С.А. Геном человека: нити судьбы // Химия и жизнь. 1998. №4. С.27—30.
12. Янковский Н.К., Боринская С.А. Наша история, записанная в ДНК // Природа. 2001. №6. С.10—17.

В погоне за «желтым дьяволом»

Д.Я. Фащук

Так же как и морская вода, содержащая в растворенном виде практически всю таблицу Менделеева, земная кора хранит 90 из 107 известных науке элементов. 22 из них пребывают здесь в чистом или почти чистом виде, за что и прозваны самородными (золото, серебро, платина, углерод и др.). Однако, в отличие от суши, дно Мирового океана в прибрежной зоне обилием и разнообразием скоплений твердых фаз, прямо скажем, особо не блещет. Тем не менее кое-что Нептун в этом плане для человека приберет.

Помимо осадочных руд, возникших на морских шельфах в течение геологической истории нашей планеты, большой интерес для промышленности представляют также россыпи тяжелых минералов, формирующиеся здесь «геологически мгновенно». По мнению Е.Ф. Шнюкова, прибрежно-морские россыпи «лежат на суше близ моря и непосредственно на морском дне близ берега». Формируясь в процессе сортирующей и транспортирующей деятельности волн и течений, эти образования представляют собой месторождения пляжей, баров и береговых валов (дюн) — форм рельефа, типичных для береговых террас, ос-



Дмитрий Яковлевич Фащук, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Института географии РАН. Область научных интересов — изменение морских экосистем под действием природных и антропогенных факторов. Постоянный автор «Природы».

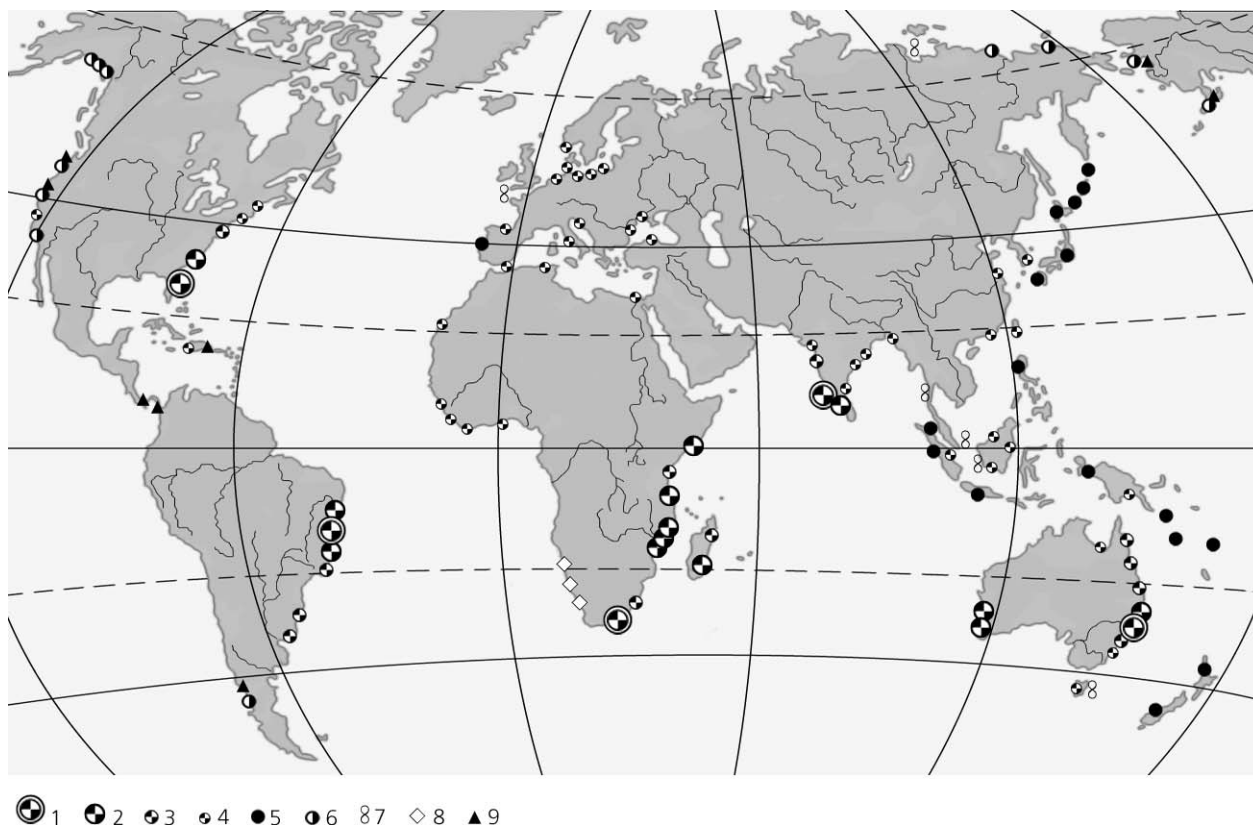
тавшихся выше уровня моря или скрытых его водами [1].

Достаточно сказать, что на сегодняшний день россыпные месторождения — практически единственный источник добычи титана, циркония и тория, используемых в машиностроении и атомной промышленности. Сырьем для получения титана служат минералы ильменит $FeTiO_2$ и рутил TiO_2 , циркония — циркон $Zr[SiO_4]$, тория — монацит $(Ce,Th)[PO_4]$. Все они содержатся в россыпях на огромных пространствах побережий Индийского (п-ов Индостан, острова Шри-Ланка и Мадагаскар, Южно-Африканская Республика), Тихого (о. Тайвань, Австралия, Южная Корея) и Атлантического (США, Бразилия, страны тропической Африки) океанов.

Кроме того, огромные прибрежно-морские россыпи магнетитовых песков в Канаде, на Аляске, на шельфе Новой Зеландии (здесь еще и титаномагнетитовые), Японии, на Курильских о-вах и Сахалине — важный источник железа для многих государств, так как содержат от 18 до 56% этого металла. Наконец, побережье Юго-Восточной Азии (Индонезия, Малайзия, Тайланд) славится своими россыпями касситерита SnO_2 — важнейшего минерала олова.

Но наиболее редкие, ценные, привлекательные и загадочные «дети береговых террас» — прибрежно-морские месторождения драгоценных металлов.

Полагают, что слово «золото» произошло от индоевропейского корня «сол» — «солнце». В от-



Основные типы россыпей металлов на шельфе Мирового океана [6]. 1–4 — полиметаллические с запасами от 0.5 до 10 млн т; 5 — титаномагнетитовые; 6 — золотоносные; 7 — касситеритовые; 8 — алмазные; 9 — магнетит-хромитовые.

личие от первичных коренных месторождений, возникших в сложных геологических условиях, когда вынесенный из недр планеты в виде горячих подземных растворов металл отложился в кварцевых, сульфидных и других твердых телах, россыпные месторождения — вторичные. Они возникли в результате разрушения и переотложения золотоносных пород [2]. Поэтому в месторождениях первого типа золото встречается в распыленном виде, а в россыпях представлено лепешечками 1–3 мм в поперечнике и 0.5–2 мм толщиной или более мелкими дробинками и проволочками.

В коренных месторождениях «раз в сто лет» встречаются дендриты (от греч. δένδρον — дерево) — плотные древесные сростки, именуемые в народе

«золотым прозрачным кружевом». Со временем эти чудеса природы могут толстеть, превращаясь в пластины весом 10–20 кг. Такие шедевры были добыты старателями в районе р.Колмы [3].

Самая крупная форма существования золота в природе — самородки. У поверхности земли, в зоне активного выщелачивания, на поздней стадии минералообразования золотосодержащие минералы (сульфиды) начинают разлагаться и, растворяясь, отдают заключенное в них золото. При этом формируются (еще до конца не понятным образом) драгоценные металлические монстры. Самый крупный самородок в нашей стране найден в 1842 г. на Южном Урале, на Царево-Александровском (ныне Ленинском) прииске. Ве-

сит он более 36 кг. А в 1872 г. в Австралии, на руднике Хилл-Энди, в 100 км от Сиднея, была добыта плита золота весом с бокковой породой около 6.5 ц, содержащая не менее 2 ц драгоценного металла [3].

С 1826 г. наше государство начало коллекционировать золотые самородки. Сегодня в уникальную коллекцию, хранящуюся в Алмазном фонде Московского Кремля, входит около сотни экземпляров. Десятки из них весят по 10–20 кг. Чистота золота определяется в каратах и пробах. Сплав, содержащий 100% золота, соответствует 24 каратам, или близок к 1000 пробе. С 1994 г. в России производятся изделия из золота 375, 500, 585 и 750 пробы, фиксируемой на специальном клейме в виде лопатки. Для изделий

из других драгоценных металлов клеймо имеет вид женского профиля в кокошнике [4].

География «золотых лихорадок»

С давних времен удивительное сочетание химической стойкости золота с его уникальными физическими свойствами (вязкостью и ковкостью) определяли благоговейное отношение человека к этому металлу, переходившее часто в обожествление.

Древний Египет. Египтяне называли Солнце «Большим диском яркого золота». Их бог Хорус, как и Электр (Хелиос) у греков, был одновременно и богом золота и богом Великого Светила. Именно Древнему Египту принадлежит приоритет в открытии золота, второго после меди металла, который начали использовать для изготовления украшений и предметов быта. По одним данным, это произошло около 4500 лет до н.э. (эпоха культуры Амра), по другим, — в 6-м и даже в 10-м тысячелетии до нашей эры.

Первой золотоносной провинцией, открытой на нашей планете, считается Аравийско-Нубийская. Основным источником золота были его россыпи, захороненные в прибрежных террасах и донных песках Нила. Они успешно разрабатывались практически в самом центре Александрии. Россыпи и коренные месторождения осваивались также в соседней Нубии (Эфиопии), название которой произошло от слова «нуба» — золото.

По подсчетам немецких ученых, с начала организации золотодобычи и до I в. н.э. с территории африканского континента извлечено 4185 т чистого золота, из которых только Египет и Эфиопия дали 1710 и 1600 т соответственно. В Европе за этот период было добыто 3970, а в Азии — 2100 т драгоценного металла. На древних египетских

месторождениях Вади Хамиши и Фатири золото-кварцевые жили были выработаны до глубины 90 м на протяжении 5 км. При этом извлекли не менее 50 т золота. Такие темпы добычи привели к тому, что уже в средние века золотые запасы Египта были полностью исчерпаны. Любопытно, что технология добычи золота у египтян оказалась настолько совершенной, что, к примеру, в отвалах россыпного месторождения Джебель-Эльба на западном берегу Красного моря (1313—1292 гг. до н.э.), а также в отвалах древних золоторудных месторождений между Нилом и Красным морем современные геологи не смогли установить даже присутствия золота — оно полностью извлекалось из породы [3].

Европа. С началом новой эры центры добычи золота сместились в Европу, где на территории современных Испании, Франции, Болгарии, Румынии, Венгрии древние народы открыли его колоссальные залежи. Техника золотодобычи в Древнем Риме в эпоху Юлия Цезаря, описанная Плинием Старшим в «Естественной истории», была весьма любопытной. На территории Испании и Португалии 2000 лет назад римляне добывали золото коренных месторождений методом арругий (с баскско-этрuscoго — разработка смывом). Перспективное месторождение (содержание золота в руде — 2 г/т), располагавшееся на невысоком холме, прошивалось горизонтальными параллельными штольнями. Затем рабы-смертники разрушали под землей крепеж штолен, и начинался обвал по всей площади склона. Сокрушенная порода содержала обычно 30—35 млн м³ золотоносной руды. Такое количество, по подсчетам английского геолога Харрисона, 2000 шахтеров могли добыть только за 400 лет. В верховьях этого грандиозного обвала строили 10-метровую плотину со шлюзом и заполняли водохранилище водой реки, подведенной сюда с помо-

щью каналов длиной до 100—150 км. В нижней части обвала выкапывались агоге (от греч. αγογε — увод) — многокилометровые отводные каналы, дно которых для улавливания золота покрывали вязанками колючего кустарника — дрока. Когда, опять же, рабы-смертники открывали шлюз плотины, «обезумевшая вода с диким ревом мчалась вниз, не только смывая и перемывая всю разрушенную массу, но унося и оставшиеся обломки скал». На конечном этапе операции, после спада воды, содержимое канав промывалось, ветки дрока с осевшим золотинками сжигались в печах, и «золото, наконец, попадало в руки победителей».

Производительность арругий составляла 6.5 т/год — в три раза меньше ежегодного суммарного стока золота со всеми реками, впадающими в Ледовитый океан к востоку от устья Лены. Тем не менее этого «скромного количества» вполне хватило императору Нерону. Его дворец имел золотую крышу, а для встречи царя Армении Тиридата тиран позолотил также крышу и внутренние стены Капитолия. Нечего и говорить, что при таком расточительстве к моменту падения Восточной Римской империи (XIII в.) основные запасы золота в Европе были истощены.

Кстати сказать, древний метод арругий иногда применяется и в наше время на Саянах для смыва золотых россыпей, но потери металла при этом огромны. Значительно более эффективно механическое дробление, измельчение руды с последующим прямым извлечением или химическим связыванием золота ртутью или раствором цианида натрия. Сегодня золотодобыча ведется также плавучими драгами (землечерпалками) или с помощью мониторов, представляющих собой мощные пожарные брандспойты — «брызгало», с диаметром труб 1 м. Из них струя под огромным давлением направляется на прибрежные террасы, разрезая и дробя их как но-

жом. Такую струю нельзя перебить даже железным ломом [3].

Центральная и Южная Америка. Эпоха великих географических открытий (XV—XVII вв.) предоставила золотоискателям Европы новые необозримые горизонты. С начала XVI в., используя порох и ртуть, испанцы дружно принялись за освоение гигантских россыпных месторождений золота на склонах Кордильер. В конце XVII в. в Колумбии было открыто коренное месторождение Титириби, позволившее этой стране в течение 300 (!) лет занимать первое место в мире по добыче золота [4].

С 1600 г. до нашего времени на месторождении Эль-Оро в Мексике добыто около 170 т золота. Не обделенными россыпями и золотокварцевыми жилами оказались горные массивы Кордильер в Боливии, Венесуэле, Перу и Эквадоре. Первые россыпи золота между Рио-де-Жанейро и современной столицей Бразилии (г.Бразилиа) обнаружили в 1674 г., а в 1719 г. аналогичные открытия состоялись в других районах страны. К середине XVIII в. Бразилия заняла первое место в мире по добыче золота и держала его до конца века. В 1824 г. здесь же (штат Минас-Жерайс — «рудники драгоценностей») открыли самое крупное в Южной Америке коренное месторождение Морру-Велью, подарившее стране 350 т золота, а также самый большой самородок весом 193 кг. Сегодня суммарный потенциал Бразилии (неразработанные запасы коренного и россыпного золота) оценивается в 17,5 тыс. т.

Северная Америка. Первые испанцы времен Колумба, обследовавшие атлантическое побережье Северной Америки, назвали его «землей, не сулящей выгод» — «Tierras de ningun provecho». И зря... В 1799 г. в штате Северная Каролина, а затем в Джорджии начали добывать первое североамериканское золото. В 1848 г. в Калифорнии в русле ручья был най-

ден первый самородок, положивший начало знаменитой калифорнийской золотой лихорадке. Уже в 1853 г. этот район дал 94 т драгоценного металла. В 1851—1985 гг. производительность россыпных месторождений, располагавшихся полосой 150 км на протяжении более 300 км по дну каньонов и речных долин западного склона хребта Сьерра-Невада, составляла 80 т/год.

В 1850 г. у города Невада-Сити обнаружили первое в США коренное месторождение, а затем — огромную золоторудную зону Материнская залежь. Ее протяженность достигает 180 км, ширина — до 30 км, содержание золота составляет 10 г/т породы, а глубина проникновения золотокварцевых жил изменяется от 1,5 до 3 км. Старателям-одиночкам здесь делать нечего.

За 100 лет 97 аналогичных золоторудных районов Калифорнии дали США более 3,5 тыс. т золота (1/3 добытого в стране), но к настоящему времени они значительно истощились, хотя и сейчас здесь нередко находят драгоценные «карманы» (полости), заполненные кристаллическим золотом. Самый крупный самородок весил более 25 кг.

В 1860-х годах открыты месторождения золота в штате Невада, в 1864—1880 — на Аляске (полуострова Кент и Сьюард), в 1890-х — в штате Колорадо, а в 1876 г. в Южной Дакоте разведано крупнейшее в Западном полушарии коренное месторождение Хоумстейк, разрабатываемое по сей день и давшее стране за это время более 1300 т драгоценного металла [5]. Все эти подвиги американских золотоискателей вывели США на первое место в мире по добыче золота, которое они, впрочем, удерживали недолго — до открытия залежей «желтого дьявола» в Южной Африке, отбросивших лидера на второе место.

В 1898 г. на севере американского континента, в Канаде, в верховьях р.Юкон и на его правых притоках Клондайк, Ин-

дианка, а также на ручьях Эльдо-радо, Бонанза, Хункер и др. были обнаружены россыпные месторождения золота, сделавшие этот далекий полярный край местом очередной золотой лихорадки. С тех пор здесь добыто 7 тыс. т, а Канада занимает третье место в мире по разведанным запасам золота (после ЮАР и США).

Южная Африка. В 1886 г. в Африке, на территории Трансваальской и Оранжевой республик голландских и французских поселенцев (буров), захваченной незадолго до этого англичанами, был обнаружен огромный (протяженность 45 км) золотосносный пласт — Главный Риф. Возникший в этом районе лагерь золотоискателей (Йоханнесбург) стал центром самой богатой в мире золотосносной провинции Витватерсранд [5], на протяжении десятилетий дававшей свыше половины всей мировой добычи золота. Всего здесь было получено 45 тыс. т этого металла. В настоящее время золото добывается с глубин до 3500—3900 м. И это, очевидно, еще не предел. ЮАР сегодня мировой лидер по добыче золота. Максимальная производительность (1 тыс. т) была достигнута в 1970 г.

Кстати, в 1979 г. на этом же месторождении впервые в мире было обнаружено живое золото — микроскопические кристаллики, по размерам и форме соответствующие почвенным бактериям. Полагают, что эти микроорганизмы, защищаясь от вредной ртути, содержащейся в воде золотосносных источников, накапливают драгоценный металл, являющийся хорошим поглотителем токсичной ртути. Но так как жить в золотых саркофагах трудно, бактерии периодически вылезают из них, оставляют свои микроскопические «мумии»-самородки золотодобытчикам, а сами начинают строительство новых саркофагов.

Австралия. В 1851 г. в 200 км к западу от Сиднея на р.Мак-

куори были обнаружены первые крупные россыпи золота, положившие начало австралийской лихорадке. В ходе ее развития были открыты крупнейшие месторождения континента Балларат и Бендиго, на которых огромные самородки находили прямо на поверхности, а «Желанный незнакомец» весом более 70 кг сломал колесо проезжавшего по дороге экипажа. Первый пик золотодобычи в Австралии был достигнут в 1898 г. на месторождении Калгурли, а затем, после некоторого спада, — в 1950-х годах. В конце XX в. Австралия добывала более 100 т золота в год.

Россия. Первое (попутное) золото в России было выделено при Петре Алексеевиче из серебряных руд на Нерчинских месторождениях Забайкалья в 1714 г. Затем его нашли в медных рудах демидовских Колывано-Вознесенских месторождений Алтая. До начала XIX в. этот край давал в казну государства от 300 до 700 кг золота в год.

В 1745 г. при царице Елизавете Петровне разведано крупнейшее в России коренное Березовское месторождение в Рифейских (Уральских) горах в десяти верстах от Екатеринбурга. А в 1824 г. на р. Миасс нашли первые золотые россыпи и открыли Царево-Александровский прииск. В 1842 г. здесь найден крупнейший в мире (36 кг) из сохранивших свою форму самородок «Большой треугольник». М.В. Ломоносов оказался прав, предполагая, что в природе могут существовать месторождения, в которых «золотые зерна из рудной жилы каким-нибудь насильством природы оторваны и между песком рассеяны».

В 1827—1830 гг. открыты золотые россыпные месторождения Сибири: в Томской губернии, Красноярском и Минусинском округах, в районе Ачинска. 1838—1863 гг. оказались годами сибирской золотой лихорадки. В этот период свои золотые запасы раскрыли старателям бассейн р. Верхняя Тунгуска, доли-

ны рек Енисея и Лены, притоки р. Витим — Бодайбо и Бодайбокон, а также амурская тайга. В 1860-х годах морские золотоносные россыпи найдены в Амурском лимане.

В итоге этой эпопеи к 1917 г. Россия получала уже 28 т золота в год. А с 1752 по 1917 г. в стране было добыто 2,8 тыс. т драгоценного металла (12,5% мировой добычи). В 1840 г. (до открытия месторождений в Калифорнии, Австралии и ЮАР) эта цифра составляла даже 47%, а наша страна была лидером мировой золотодобычи.

После революции добыча золота в России снизилась до 2,5 т (1920), а золотой запас страны — с 1338 (1915) до 317 т (1920). В то же время в 1920—1930 гг. в Восточной Сибири, в бассейнах рек Алдан и Колыма, открыты крупнейшие россыпные месторождения золота. В июле 1928 г. на берегу Охотского моря в бухте Нагаева началось строительство базы золотоискателей — будущего Магадана. К 1953 г. добыча золота в СССР возросла до 17,7 т/год, а золотой запас — до 2 тыс. т.

В 1990 г. СССР добывал уже 302 т золота в год, но в 1995 г. эта цифра снизилась до 132 т. Сегодня разведанные запасы золота в нашей стране оцениваются в 10—12 тыс. т, а потенциальные — 50—55 тыс. т. Более 70% из этого количества заключено в коренных месторождениях. Такие руды трудоемки и дороги для разработки. Несмотря на это, Россия ныне занимает шестое место в мире по объему добычи золота [4].

Золото Нептуна. Сегодня ежегодная мировая добыча золота составляет 800—1200 т. В основном металл содержится в древнейших осадочных рудных месторождениях. Так, золоторудные пояса Канады, Индии, Западной Австралии сформировались в архейский период (3,8—2,8 млрд лет назад), золотоносные конгломераты ЮАР (месторождение Витватерсранд) созданы природой

в эпоху протерозоя (2,8—1 млрд лет назад). В это же время (2,5—1,9 млрд лет назад) образовались месторождения Хоумстейк и Сухой Лог в Прибайкалье. Спустя 1,5 млрд лет (400—250 млн лет назад), золото родилось в Восточной Австралии, на Урале, в Монголии. И лишь 250 млн лет назад в складчатых поясах вокруг впадины Тихого океана стали возникать многочисленные относительно молодые золоторудные месторождения Аляски, Чукотки, Колымы, Приморья и Приамурья [4].

Практически все морские залежи россыпного золота расположены у берегов Тихого океана на севере Америки и северо-востоке азиатского континента. Наиболее известные месторождения открыты в прошлом веке на п-ове Сьюард на Аляске. Они питаются золотом, вымываемым из кристаллических сланцев р. Энвил-Крик. Здесь пляжные россыпи золота протягиваются на 5 км вдоль берега полосой шириной 90 м и мощностью до 1 м. В морских террасах на высоте 11—24 м над ур. м. и на удалении 1,5—7,5 км от моря также обнаружены золотоносные пласты шириной до 30 м и мощностью до 3 м. Содержание металла составляет 5—50 г на тонну гравия. По другим данным, эта величина достигает 260 г на тонну породы [6].

В Северном Ледовитом океане, вдоль практически всех 13 тыс. км (!) северо-восточного побережья России, от устья р. Лены до Берингова пролива, тянутся золотоносные прибрежно-морские россыпи. Наиболее перспективны из них участки северного побережья п-ова Чукотка. В северной части Анадырского залива, между мысом Беринга и устьем р. Эргувсем, на северном побережье Охотского моря в районе п-ова Тайгонос, Кони и г. Охотска также обнаружены проявления россыпного золота. А в 1968 г. на тихоокеанском побережье Юго-Восточной Канады на глубине 25—45 м с помощью сейсмоаку-

стических приборов найдены россыпи с содержанием золота до 0,5 г на тонну песка [1].

Так или иначе, но с 1493 г. и до конца XX в. (за 500 лет) количество добытого в мире золота составило, по оценкам современных геологов, 110 тыс. т. Почти столько же было произведено в Египте примерно за 5,5 тыс. лет. Остается только добавить, что 40 тыс. т из добытого за последние пять веков золота хранится в сейфах банков, чуть меньше заключено в ювелирных изделиях, а остальное — задействовано в промышленности [6]. Общие разведанные в Мире золотые запасы составляют 120—150 тыс. т.

Золушка среди металлов

Рассказ о россыпях «желтого дьявола» был бы неполным без знакомства с еще одним драгоценным металлом, во многих случаях соперником и конкурентом золота в быту и на мировом рынке, — платиной.

В 1735—1748 гг. в Мадриде были изданы отчеты испанского физика А.Де Уллоа о результатах измерения длины меридиана в Южной Америке. Кроме профессиональной информации, в них содержалось мнение ученого о невозможности эффективного использования россыпных месторождений золота и серебра в провинции Кито (Эквадор) и на берегах р. Рио-Пинто в Колумбии. Причина состояла в их засорении «серебришком» — серым зернистым металлическим порошком. Это было первое упоминание в литературе о платине (исп. *platina*, уменьшительно-презрительное от слова *plata* — серебро). Позже за удивительные «хозяйственные» качества — исключительную химическую стойкость, высокую плотность, тугоплавкость и прекрасную электропроводность химики прозвали этот металл Золушкой. Он плавится при температуре 1769°C

(железо — при 1539°, золото — при 1064,43°C), а плотность платины (21,45 г/см³) в три раза выше, чем у железа.

Как ни странно, но испанские завоеватели при «зачистке» открытого Колумбом Нового Света, увлеченные грабежом золотых и серебряных сокровищ несчастных местных жителей, совершенно не обратили внимания на раскопанные уже в наше время произведения искусства индейцев Чили (пустыни Атакама) и Северного Эквадора (побережья р. Эсмальдас), выполненные из мелких зерен платины, сцементированных расплавленным золотом.

Более того, убедившись в бесполезности платины для изготовления украшений и каких-либо других изделий (в кислотах не растворялась, в печах тех времен не плавилась), но опасаясь ее мошеннического применения для утяжеления золота, в 1735 г. испанский королевский двор принял закон о «потоплении платины в официальной обстановке». За 43 года действия этого закона, по оценкам современных геологов, испанцы похоронили «под специальным контролем правительственных чиновников» в реках и прибрежных океанских водах Латинской Америки от 3 до 7 т ценнейшего металла. Эти рукотворные речные и морские месторождения до сих пор, несмотря на тщательные поиски, так и не найдены [3].

Наконец, дурную славу платине обеспечили и многочисленные средневековые алхимики, считавшие ее за большой удельный вес «исчадием ада». Ведь для получения золота — самого тяжелого из известных в то время металлов (19,32 г/см³) — по их теории, нужно было всего-навсего только «уплотнить материю», а тут она уже уплотнена, а в золото не превратилась. Да и сам факт обнаружения платины казался подозрительным: к моменту ее открытия число известных металлов превысило количество знаков Зо-

диака, считавшихся символами химических элементов.

Даже египетские фараоны, оказывается, знали и ценили платину значительно выше, чем их средневековые европейские коллеги. Платиновыми пластинами они инкрустировали золотые изделия и украшения. На золотых предметах из гробниц фараонов, изготовленных еще 2000 лет до н.э. (XII династия), археологи обнаружили художественные серебристые платиновые пятна. Испанские же владыки только в 1778 г. отменили закон об уничтожении платины, сообщив, наконец, что металл могут использовать для фальсификации золота и серебра не только ловкачи-золотодобытчики, но и государственные ведомства, поддельвая золотые и серебряные монеты. Любопытно, что сегодня в промышленности все делается наоборот. При изготовлении химической посуды и котлов для химических заводов дефицитную платину разбавляют более дешевым золотом.

Одним словом, с момента отмены закона «серебришко» в трюмах испанских золотых галеонов потекло рекой в Европу. Почти за 100 лет (до 1820 г.) из Нового Света сюда было доставлено около 7 т платины. К этому времени в Париже французскому химику Макэ и аптекарю Боме впервые удалось расплавить платину в солнечных лучах с помощью полуметрового вогнутого зеркала и предсказать Золушке большое будущее.

Оно оказалось не за горами. Уже в 1861 г. платиновые реки потекли вспять — из Европы в Америку, где возникали целые отрасли по ее переработке и изготовлению лабораторной посуды и приборов. При этом значительная доля металла до 1917 г. была родом из России — из найденных еще в 1819 г. россыпей в районе Нижнего Тагила на Урале.

В природе платина встречается преимущественно в самородном состоянии или в виде различных интерметалличес-

ких соединений — с золотом, железом, иридием, родием, палладием, медью, никелем и др. [1].

На уральских рудниках в XIX в. были добыты самородки платины массой почти полпуда. В коренных породах платину добывают в медно-никелевых месторождениях России (Норильск) и Канады (рудник Седбери), а также в ЮАР на крупнейшем в мире месторождении «Риф Меренского», протянувшимся более чем на 400 км вдоль городов Претория, Лиденбург

и Питерсбург. Оно названо в честь открывателя и содержит 10–20 г платины и палладия на тонну руды. Эти месторождения дают ежегодно около 30 т ценных металлов, а содержат, по оценкам геологов, 800–850 т.

В 1818–1819 гг. русские исследователи открыли на западе Аляски в Беринговом море бухту Добрые вести, где в 1926 г. эскимосы и американцы обнаружили единственную в мире промышленную прибрежно-морскую россыпь платины. В 1938 г.

ее добыча составила 37 тыс. унций — около 950 кг. После 1957 г. месторождение расширено, но объем добычи стратегического сырья для радиоэлектронной, космической, военной и множества других отраслей промышленности, по вполне понятным причинам, преимущественно держится в секрете [1]. Тем не менее известно, что сегодня все мировые (без России) сухопутные и морские россыпные месторождения дают ежегодно до 7,5 т платины. ■

Литература

1. Шнюков Е.Ф., Белодед Л.М., Цемко М.П. Полезные ископаемые Мирового океана. Киев, 1974.
2. Шило Н.А. Основы учения о россыпях. М., 1985.
3. Соболевский В.И. Замечательные минералы. М., 1983.
4. Лейбов М., Боцманов А., Амосов Р., Горева О. Золото в природе // Золото мира. М., 2003. С.9–53.
5. Константинов М.М. Золоторудные гиганты // Природа. 2000. №3. С.52–57.
6. Аксенов А.А. Полезные ископаемые шельфа. СПб., 1995.

Генеты (*Genetta*), небольшие плотоядные млекопитающие из рода виверровых, ведут ночной образ жизни, а своими повадками и движениями напоминают кошачьих. Недавно по хранящимся в музеях Европы и Африки материалам изучения и анализа ДНК 4400 особей выделен и описан новый вид этого рода — *Genetta bourloni*. Он представляет собой эндемик тропических лесов Гвинеи, Либерии, Сьерра-Леоне и Кот-д'Ивуара.

Terre Sauvage. 2003. №190. P.16 (Франция).

К настоящему времени в Бразильской Амазонии из-за регулярных вырубок под строительство дорог и расширение сельскохозяйственных площадей уничтожено 16% лесов, что сопоставимо с территорией Франции. Ситуация не соответствует оптимистическим прогнозам 2001 г. и обещаниям правительства принять срочные меры контроля: с 2000 по

2001 г. исчезло 18 200 км² лесов, а с 2001 по 2002 г. — уже 25 500 км² (оценки получены с учетом анализа космических снимков, выполненных спутником «Landsat»).

Science et Vie. 2003. №1032. P.29 (Франция).

В Индонезии непоправимый ущерб девственным лесам и их фауне нанесло расширение плантаций кофейных деревьев, которые широко используются для производства быстрорасторимого дешевого кофе. По данным сотрудников Общества сохранения дикой природы (Wildlife Conservation Society), под плантации с 1985 г. ушло 28% национального парка на о.Суматра, где обитают последние популяции тигров, слонов, носорогов. Индонезия занимает второе место в мире по экспорту робусты — наиболее устойчивого и урожайного вида, между тем 30% этой продукции производится как раз на юге Су-

матры, где дикая фауна сохранилась в наибольшей мере. Хотя площадь плантаций возросла на 28%, уровень жизни местного населения отнюдь не повысился — доходы упали на 25%.

Science et Vie. 2003. №1029. P.32 (Франция).

Новозеландские палеонтологи на основе генетического анализа ископаемых костей моа (*Dinornithiformes*), пришли к выводу: эти гигантские нелетающие птицы, вымершие несколько веков назад, принадлежали к одному виду, а не к нескольким, как считалось ранее. То, что особи моа сильно различались по размерам тела, объясняют половым диморфизмом: рост самок был в два, а масса — в три раза больше, чем у самцов. Это первый установленный случай полового диморфизма у крупных наземных животных.

Sciences et Avenir. 2003. №680. P.30 (Франция).

Коротко

Гастролиты ископаемых

В.Г.Очев,

доктор геолого-минералогических наук

А.В.Иванов,

кандидат геолого-минералогических наук

М.С.Архангельский,

кандидат геолого-минералогических наук

Саратовский государственный университет

О существовании животных и растений, которых уже нет в современном мире, обычно судят по фоссилиям — минерализованным костям, высушенным или замороженным мягким тканям, различным отпечаткам, копролитам и т.д. Иногда вместе с остатками вымерших животных находят скопления угловатых, но со сглаженными краями камней. Поскольку лежат они, как правило, в месте, где когда-то был желудок, есть все основания считать, что это — гастролиты, или желудочные камни. Известно, что глотают их те животные, у которых отсутствует или недостаточно развита зубная система. Камни попадают в мускульный отдел желудка и способствуют перетиранию плотной и волокнистой пищи.

Гастролиты всегда присутствуют в желудках многих современных птиц, особенно зерноядных. Есть они и в сходных по строению с птичьим желудках муравьедов и панголинов, рацион которых состоит в основном из муравьев и термитов, а также — у ехидны и утконоса, питающихся насекомыми и прочими беспозвоночными животными. Из современных рептилий лишь у крокодилов (типичных хищников) желудок достаточно дифференцирован, с обособлением мускульной части, где почти всегда находится значитель-

ное количество камней. Например, их масса у нильского крокодила (*Crocodilus niloticus*) может достигать 5 кг, т.е. более 1% от массы тела. (Предполагают, что камни, кроме всего прочего, перемещают центр тяжести вперед и вниз, придавая животному большую устойчивость при плавании.) Из млекопитающих постоянное пополнение желудка гастролитами обычно свойственно тем, чья зубная система не приспособлена для интенсивного пережевывания (например, ластоногим).

Желудочные камни необходимы растительноядным наземным плацентарным млекопитающим животным, по-видимому, не только для перетирания пищи, но и для утоления минерального голода (литофагия, или геофагия) [1]. Более того, по мнению А.М.Паничева, многие порообразующие минералы и их смеси могут оптимизировать состояние электролитов в пищеварительном тракте, активизировать ферменты и влиять на симбиотическую микрофлору кишечника, что, безусловно, способствует перевариванию пищи. Хищным млекопитающим литофагия как способ получения необходимых минеральных веществ не свойственна, так как пища плотоядных животных всегда сбалансирована в этом отношении.

Инстинкт заглатывания камней мог выработаться, конечно, и случайно, поскольку они не-

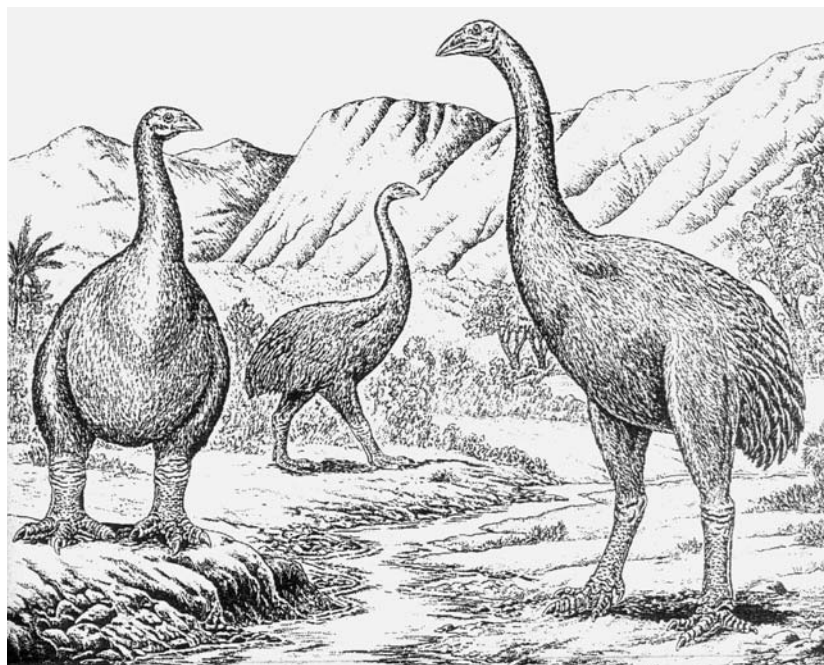
произвольно оказываются в желудке животного вместе с пищей (к примеру, благородный олень за день съедает до 30 кг травы, а вместе с ней около 1 кг почвы). Однако, как отмечает Паничев, именно свойство многих минеральных веществ влиять на процесс пищеварения должно было привести в результате эволюции к выработке поведенческих реакций, направленных на поиск необходимых минералов.

Хотя в остатках ископаемых животных гастролиты встречаются и не часто, их находки очень важны. Наряду с морфологическим исследованием скелета (в частности изучением особенностей зубной системы), минералогический и химический анализ желудочных камней позволяет точнее судить о типе питания, образе жизни и даже миграциях динозавров. Правда, распознать гастролит бывает довольно сложно, особенно если найден он не рядом с остатками животного. Американские оптики предложили метод идентификации желудочных камней на основе изучения кривых рассеяния света от направленного на их поверхность лазерного луча [2]. Направление и интенсивность рассеивания света зависят от средней глубины ямок на поверхности и углов их наклона. Специфические для гастролитов характеристики были выявлены путем сравнения несомненных желудочных камней с морской и речной галькой.

Ценность этого метода очевидна, так как позволяет даже в отсутствие ископаемого скелета отличить гастролит от любого отполированного водой или ветром камня. Особенно это важно в случае наземных организмов, остатки которых нередко находят не только не в месте их гибели, но и не в районах их обитания. Дело в том, что трупы или кости часто могут быть перенесены водой, силами гравитации и даже ветром.

Находки скелетов теропод (хищных ящеротазовых динозавров) обычно не содержали гастролитов. Тем интереснее было обнаружить скопления желудочных камней (до 4 мм в диаметре) вместе с остатками орнитомимозавров и некоторых других страусоподобных ящеров [3]. Это заставило исследователей усомниться в том, что эти динозавры были хищниками. Завроподы, вероятно, были растительноядными животными, что подтверждается присутствием в их находках гастролитов: находят их и у ранних животных — *Masospondylus*, и у более поздних гигантов — *Brachiosaurus* [4].

Большинство птицетазовых динозавров, видимо, питались существенно менее грубой растительной пищей, перемалывая ее зубами; гастролиты с ними не найдены. Исключение составил скелет попугайного ящера *Psittacosaurus* из нижнемеловых



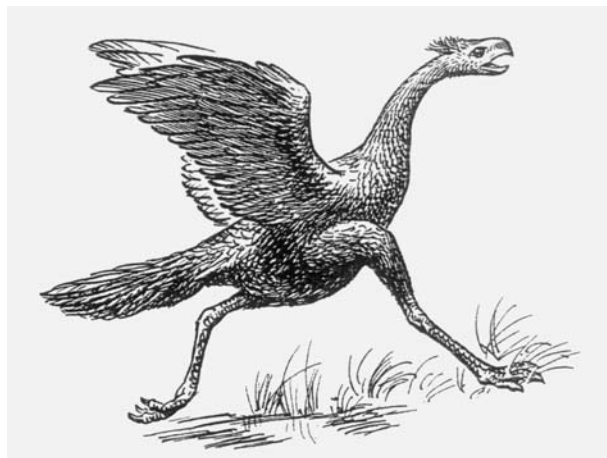
Гигантские (до 3,6 м высотой) нелетающие птицы моа послеледниковой Новой Зеландии [2].

отложений Монголии, где было обнаружено около 100 желудочных камней [5].

В настоящее время накоплены некоторые данные о содержимом желудка ископаемых птиц. Гастролиты обнаружены у обитавших в Новой Зеландии гигантских нелетающих птиц из отряда моаобразных (*Dinornithiformes*), уничтоженных уже в историческую эпоху появившимися там тысячу лет назад

маорийцами. Более 1700 скелетов этих птиц, увязших в трясине, были найдены в болотах на о.Южном. Вместе со скелетами попадались и кучки гастролитов, с помощью которых перетирались в желудке листья и ветки, составлявшие большую часть пищи моа [6].

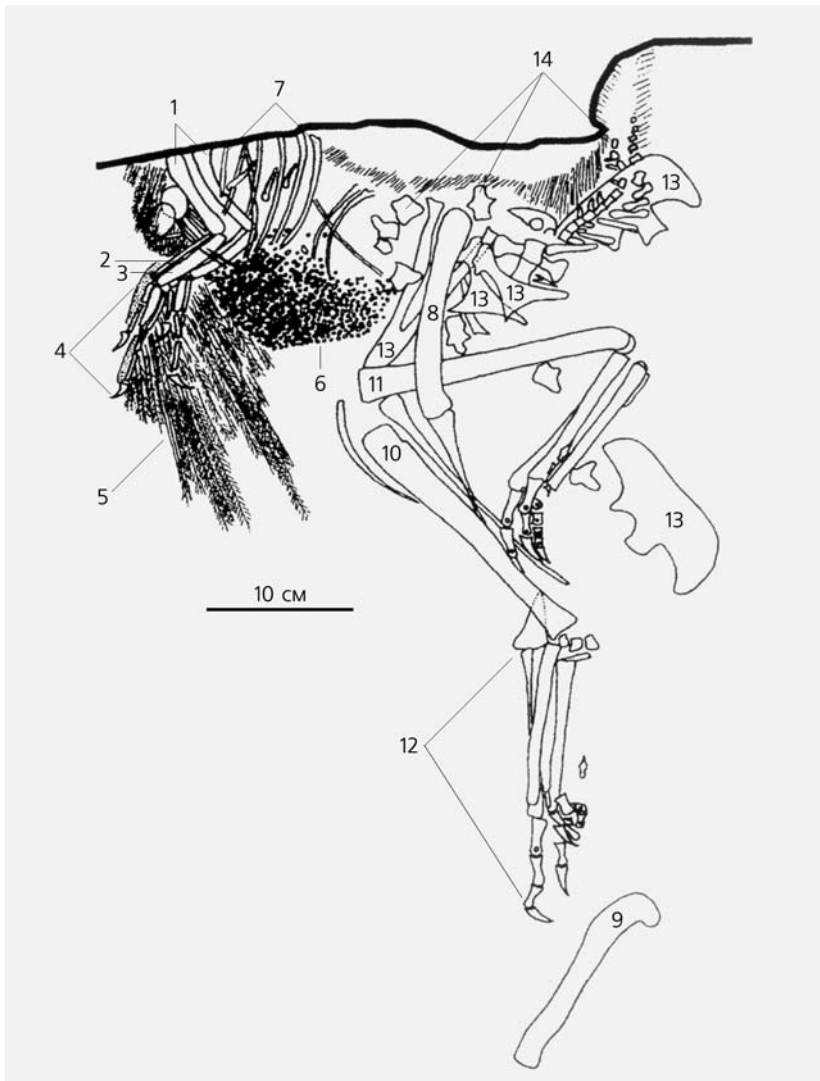
Трупы водных обитателей сохраняются лучше, и поэтому неслучайно наиболее известные находки гастролитов вымерших



Птицеподобный динозавр *Avimimus pardenatorus* [4].



Гигантский завроподоморфный динозавр диплодок [4].

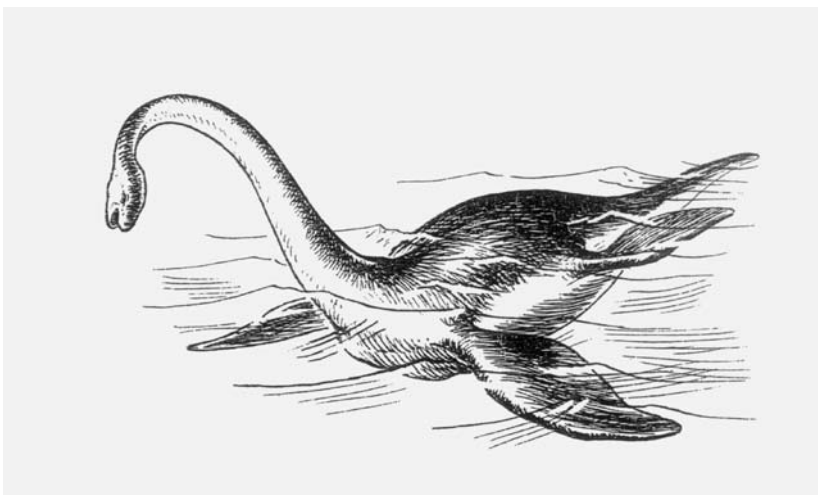


Часть скелета нижнемелового оперенного птицеподобного динозавра *Candipteryx dongi* из северо-восточного Китая [3].

- 1 — кости бедра;
- 2 — лучевая кость;
- 3 — локтевая кость;
- 4 — автоподии (нижняя часть) передних конечностей;
- 5 — перья;
- 6 — скопление гастролитов;
- 7 — ребра;
- 8 — левое бедро;
- 9 — правое бедро;
- 10 — левая большая берцовая кость;
- 11 — правая большая берцовая кость;
- 12 — автоподии (нижняя часть) задних конечностей;
- 13 — кости таза;
- 14 — фрагменты позвоночника.

животных относятся к мезозойским морским рептилиям — ихтиозаврам и плезиозаврам. Эти хищники имели недифференцированную зубную систему, а значит, пищу они не пережевывали. Прекрасно сохранившиеся скелеты ихтиозавров и отпечатки мягких тканей найдены на всемирно известном местонахождении Хольцмаден в нижнеюрских отложениях Германии. Выясняется, что они питались исключительно рыбой и головоногими моллюсками — белемнитами. У ихтиозавров гастролитов не было, а вот у плезиозавров, вероятно, они были обычны.

Такие камни подробно описаны в работах палеонтологов XIX — начала XX вв. Обзор их приведен в известном труде о плезиозаврах Н.Н.Боголюбова [7]. Гастролиты плезиозавров были размером с орех или куриное яйцо, иногда достигали 10 см в диаметре и веса до 1.5 кг. В ряде случаев удавалось установить, что желудочные камни были принесены плезиозаврами издалека. Так, в скелете из нижнемеловых отложений на юго-востоке Англии оказались куски палеозойских пород северной Франции.



Плезиозавр [4].

В Канзасе вместе с остатками плезиозавра было обнаружено более 100 камней; ближайший район развития подобных пород расположен за несколько сотен километров от того места, где погиб ящер. Иногда полагают, что подобные камни могли попадать в желудки плезиозавров случайно вместе с пищей, которую они проглатывали целиком. Однако питались они в основном не донной добычей, а находящейся в толще воды (пелагиали), поэтому проглатывали камни они, вероятнее всего, не случайно, а преднамеренно. Вместе с одним из скелетов из отложений мелового возраста сохранилась пища этого животного — остатки летающего ящера, рыбы и головоногого моллюска, который был проглочен вместе с раздавленной раковиной. Более того, у современных ластоногих, поедающих как рыб, так и морских беспозвоночных, зубная система упрощена настолько, что может служить лишь для схватывания и удержания добычи, но не для пережевывания, и их желудки также наполнены гастролитами.

Плезиозавры, как полагают изучавшие их исследователи, были способны заглатывать и достаточно крупную добычу — меньших по размерам рептилий, с которыми они могли справиться. Так, знаменитый американский палеонтолог Э.Коп в 1872 г. сообщил о находке в скелете плезиозавра *Plesiosaurus gigas* из верхнемеловых отложений Канзаса остатков небольшого мозазавра *Clidastes*, который, возможно, был проглочен хищником.



Гастролиты завроподоморфных динозавров [5].

Малый объем сведений о литофагии ископаемых позвоночных связан не только с редкостью их находок, но и с недостаточным вниманием палеонтологов к поискам и изучению содержимого желудка в раскапываемых скелетах.

В нашей стране находки сколь либо полных скелетов морских рептилий (с которыми может быть связано обнаружение гастролитов) всегда представляли большую редкость. В литературе есть сведения лишь об одной находке плезиозавра в верхнеюрских отложениях у г.Пугачева (Саратовской обл.) [8]. В скелете в области желудка была обнаружена масса остатков головоногих моллюсков, которыми, видимо, в основном питалось это животное, а также целая (непереваренная)

рыба. Крупные гастролиты, описанные у плезиозавров зарубежными авторами, здесь не были найдены, встречены только мелкие галечки 3—4 мм в диаметре.

Недавно была сделана новая интересная находка — почти полный скелет крупного плезиозавра из нижнего мела Ульяновского Поволжья. Раскопки были проведены под руководством Г.Н.Успенского — директора Естественноисторического музея Ульяновского государственного университета. Было обнаружено скопление остатков пищи, в том числе кости рыб, крочки головоногих и многочисленные желудочные камни, состав которых пока не изучен. Мы надеемся, что это послужит стимулом дальнейшей работы в данном направлении. ■

Литература

1. Паничев А.М. Литофагия в мире животных и человека. М., 1990.
2. Johnston R., Manley K., Lemanski Cb. // Optic Communication. 1991. V.74. P.279.
3. Zhou Zhong-He, Wang Xiao-Lin. // Vertebr. Palasiatica. 2000. V.38, №2. P.113—126.
4. Ивахненко М.Ф., Коробельников В.А. Живое прошлое Земли. М., 1987.
5. Norman D. Dinosaur. Granada, 1991.
6. Рич П.В., Рич Т.Х., Фентон М.А. Каменная книга. Летопись доисторической жизни. М, 1997.
7. Боголюбов Н.Н. Из истории плезиозавров в России. М., 1911.
8. Журавлев К.И. // Изв. АН ССР. Сер. биол. 1943. №6. С.293—306.

Когда Заволочье стало Русским Севером

Н.А.Павлович

В истории открытий необозримых пространств Государства Российского немало славных имен уроженцев Русского Севера. Это — пинежане Семен Дежнев и Михайла Стадухин, холмогорец Федот Попов, устюжанин Василий Поярков и др. Однако неизвестно, кто и когда впервые открыл и положил на чертежи главные географические объекты их родного края, в русских летописях называвшегося Заволочьем (историческая область XI—XIV вв. в бассейнах Северной Двины и Онеги). Отчасти пробел в знаниях восполняют сохранившиеся старинные карты, которые мы в дальнейшем рассмотрим именно с этих позиций.

Напомним, что впервые Заволочье упоминается в «Повести временных лет» в связи с гибелью новгородского князя Глеба в 1079 г., который был «выгнаша из города и бежа за Волок и убиша чудь» [1, с.503]. В том же источнике новгородец Гюрята Рогович сообщает о путешествии в 1095 г. своего сына в Печору, к людям, дающим дань Новгороду. Оттуда отрок попал в землю Югорскую, соседствующую «с самоядью в северных странах», и узнал о том, что «есть горы, заходят они к заливу морскому» [1, с.245].



Наталья Алексеевна Павлович, аспирантка кафедры географии и геоэкологии естественно-географического факультета Поморского государственного университета им.М.В.Ломоносова (г.Архангельск). Занимается историей Русского Севера на основе анализа географических карт разного времени.

Это, пожалуй, первое упоминание о какой-то акватории Северного Ледовитого океана с «привязкой» к горам. Очевидно, речь идет о Югорском п-ове — современной Байдараккой, или Хайпудырской губе. В «Повести временных лет» упоминаются и другие северные народы и территории, однако нет отчетливых указаний на Северную Двину, Белое море или Северный Ледовитый океан с его многочисленными островами. Эти географические объекты в позднейших источниках возникают самым неожиданным образом.

Так, выдающийся гидрограф и знаток истории полярных стран В.Ю.Визе приводит свиде-

ния европейцев, относящиеся к началу XIV в.: «...русские, плавающие по северному морю, открыли 107 лет тому назад остров, дотоле неизвестный, обитаемый славянским народом и подверженный вечной стуже и морозу... Он превосходит величиной остров Кипр... и показывается на картах под названием Новая Земля» [2, с.16]. Более того, по свидетельству итальянца Паоло Джовио, посол Дмитрий Герасимов, представлявший при папском дворе царствовавшего в 1462—1505 гг. Ивана III, заявил, что «Двина, увлекая бесчисленные реки, несетя в стремительном течении к северу, и что море там имеет такое огромное протяжение, что... дер-

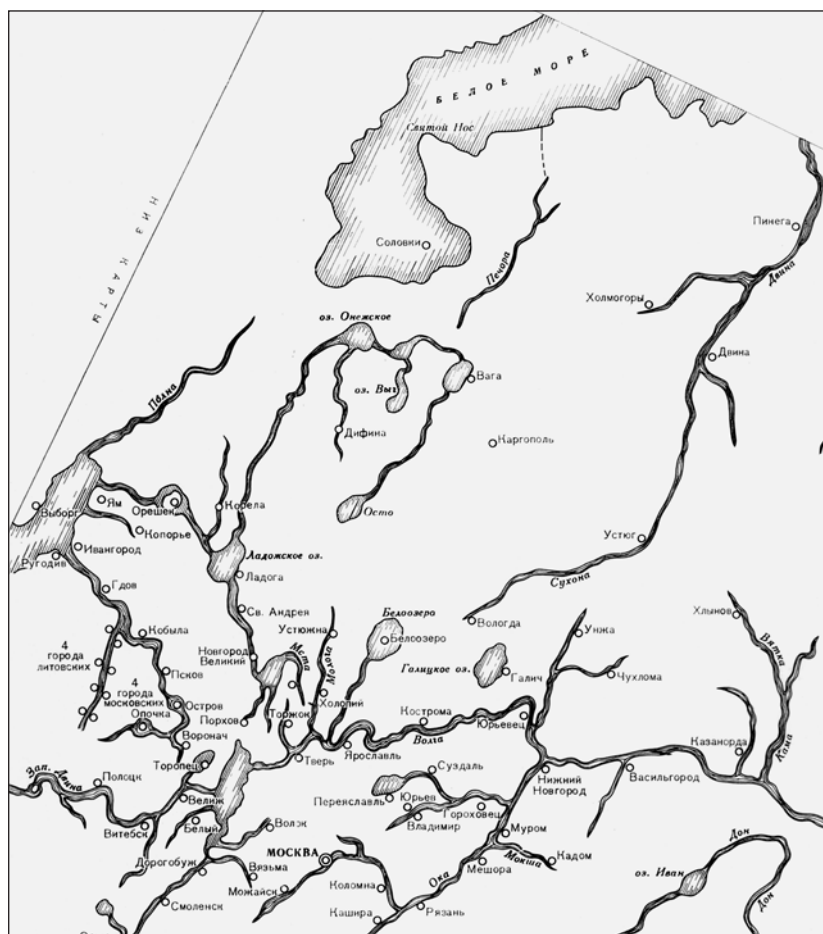
жась правого берега, отсюда можно добраться на кораблях до страны Китая» [2, с.18]. Таким образом, положение Заволочья между бассейнами Каспия и Балтики с одной стороны и побережьем Северного Ледовитого океана с другой на рубеже XV—XVI вв. у самих русских не вызывало сомнений.

Однако ясно, что эта огромная лесная территория на протяжении веков оставалась малоосвоенной и малоизученной. Изредка протяженные маршруты военных походов покрывали огромные расстояния, так что в летописях появляется Югра уже не только Подкамennая, но и Закамennая (т.е. Зауральская). Прежде чем перевалить Урал (Камень), на своем пути войско должно было пересечь Заволочье из края в край. Так произошло, по-видимому, зимой 1364—1365 гг. с «детьми боярскими и молодыми людьми воеводы Александра Абакумовича, воевавшими по Оби реке и до моря» [3, с.74].

Более известен деталями маршрут военного похода 1499—1502 гг. вологжан под командой Петра Федоровича Ушатого, которые «пошли до Пинежского волочка реками 2000 верст, а тут сождались с двинянами, да с пинежанями, да с важанями, А пошли до Ильина дня Колодою-рекою (Кулоем)... и пришли в Печору реку» [3, с.75], видимо, через Мезень, Пезу и Цильму. Этот путь стал позднее традиционным, по нему со временем прошел казенный тракт. Заметим, что отряд формировался не из пришлого, а из местного населения. Значит, заселенность (а с ней и освоенность) русских северных территорий в то время была уже значительной. Однако общей картины изученности Заволочья по отдельным отрывочным и явно неполным письменным данным, разумеется, получить было невозможно — оставалось искать какие-то иные источники необходимой информации.

Самый простой путь — воспользоваться картами, создававшимися в то время в государственных целях. Однако большая их часть погибла в пожарах (европейских уцелело больше, поскольку там архивы чаще хранили в каменных постройках). На Руси карты (чертежи) использовались настолько часто, что быстро изнашивались, отсюда многочисленные пометки в соответствующих списках и каталогах — «ветх» или даже «ветх добре». Волевым путем приходится прибегать к иностранным картам, тем более, что они нередко составлялись из Москвы, или на основании сведений, полученных от русских [4].

На карте литовца Вида, составленной в 1555 г. при участии переселившегося в Литву боярина И.В.Ляцкого, северные пределы Московского государства просто не обозначены, поскольку попадали под обрез листа. Здесь показана лишь небольшая северная морская акватория с Соловками, и можно догадаться, что она относилась к Белому морю. На пути к нему словно замерла в своем беге река, устье которой так и не получило ясного отображения, подписанная как Печора. С этим можно было бы согласиться, но восточнее почему-то показана Двина с городами вверх по течению (в порядке перечня): Пинега (причем на западном берегу), Холмогоры, Двина и Устюг.



Расшифрованный фрагмент карты Вида—Ляцкого (1542—1555) с современной ориентировкой (север вверху) и переводом части топонимов [4].

тюд. В верховьях эта река, у истоков которой находилась Вологда, называлась Сухоной. Приведенной информации достаточно, чтобы читатель мог судить о степени достоверности карты Вида—Ляцкого для территории Русского Севера.

Увидевшая свет несколько раньше карта Сигизмунда Герберштейна, направленного послом в Москву императором Священной Римской империи Максимилианом, на интересующей нас территории грешила все же меньше. Видимо, сам «Максимьянкин посол» догадывался, что сведения для территории бывшего Заволочья слишком ненадежны, отчего северные пределы Московии и у него оказались под обрезом карты, видимо, чтобы не показывать арктического побережья. Тем не менее последовательность в отображении основных водных магистралей Русского Севера (Двина, Пинега, Кулой, Мезень и Печора) претензий не вызывает. Даже небольшое пространство морской акватории, куда впадает Двина, подписано «Mare Glacial» — Ледовитое море. Здесь также достоверно показана граница бассейна Двины на юге, а главное, между Печорой и Обью нанесена горная гряда, протянувшаяся по меридиану — современный Урал. Тем самым Герберштейн выделяет границы современного Русского Севера по смешанному орографическо-бассейновому признаку, что следует отнести к его очевидным научным достижениям. Морские пределы Русского Севера, видимо, не слишком интересовали составителей описанных карт, больше занятых пограничными проблемами Московской Руси, и их пришлось искать в других источниках.

«Море — наше поле»: так говорили поморы — единственная общность русского народа, изначально связанная в своей жизни и деятельности с морской стихией. Без их участия на Русском Севере никаких геогра-

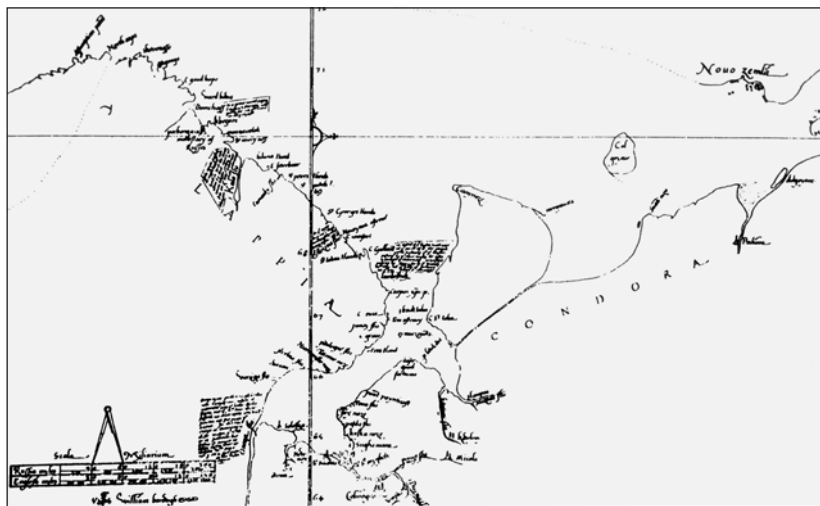
фических открытий не могло бы состояться. Когда европейские моряки появились в наших северных водах, им оставалось убедиться в том, что поморы здесь — хозяева положения. Так, гибель экипажей двух кораблей из отряда сэра Хью Уиллоуби в зиму 1553—1554 г. у Кольского побережья продемонстрировала их полную непригодность к арктическим условиям. Местные мореходы не видели в иностранцах достойных конкурентов, что и подтвердили три последующих века российской истории. Поэтому-то поморы не делали секрета из своих морских путей на Печору, Обь и Енисей для торговли и промысла — в отличие от московских властей.

В навигацию 1556 г. капитан Стивен Борро на своем «Сёрч-шрифте», одолевший на пути к северу половину бурной Атлантики, у кольских берегов испытал недостойное моряка сожаление, когда не смог угнаться за русскими ладьями — те вежливо, приспустив паруса, дождались англичанина [5]. Пока его брат Уильям выспрашивал у русских названия приметных мысов и других объектов побережья для будущей карты, «мастер» старательно запоминал фарватеры и опасные места для свое-

го судна с большой осадкой. Позднее, забравшись в незнакомых водах мористее («голомя» на поморском диалекте) и севернее, он встретил среди прибрежных островов русскую шлюпку и заинтересовался, как называется низкое побережье с каменистыми сопками. Ему ответили — Новая Земля. Так англичанин убедился в том, что русские мореходы знают не только собственное материковое побережье, но и заморские острова. А если бы он знал карты Вида и Герберштейна, то удивился бы их неполноте на фоне познаний своих новых знакомых...

В навигацию 1561 г. лондонскому купцу Антонию Дженкинсону было уже проще, поскольку его торговая миссия проходила при благожелательном содействии русских — государь всея Руси Иван IV Грозный, в разгар Ливонской войны оказавшийся в морской блокаде, надеялся на европейскую помощь. Англичанин оставил описание своего маршрута как по морю, так и по суше, начиная от гавани Святого Николая (район современного Северодвинска) напрямик в столицу Московии [5].

В нем, помимо перечня посещенных пунктов, приводятся широта некоторых из них (очевидно, сам Дженкинсон или



Карта У.Борро с изображением Новой Земли и северного побережья Московского государства.

кто-то из его спутников не терял времени зря, наблюдал высоты солнца с помощью громоздкого квадранта), описаны некоторые водные пути, а местами даже берега с характеристиками слагающих их пород (например, пермских гипсов в районе впадения Пинеги в Двину, названных им алебастром) и даже «пьяный лес» на подмытых берегах. Из всего этого следует, что пройденная лондонским купцом местность была достаточно освоена и довольно густо населена. Но самое главное для нас, что после своего возвращения в Англию в 1562 г. Дженкинсон составил и издал карту своего путешествия, охватившую огромное пространство: от Новой Земли на севере и включая Персию на юге по широте и от побережья Балтики на западе до пространств Сибири восточнее Оби по долготе. Остановимся

лишь на Русском Севере в современном понимании, сведения о котором Дженкинсон копил в процессе своего маршрута как путем личных наблюдений, так и расспросов — обычная практика того времени. Но только ли эти источники он использовал?

Впервые на карте показаны северные морские пределы материка — от п-ова Рыбачий на западе до Вайгача на востоке. Тем самым пространство Русского Севера определилось на юге (по волокам на границах бассейнов Волги и Северной Двины) и на севере (по кромке материка).

Детали морского побережья первого порядка несколько примитивны, но выглядят весьма убедительно: на месте Кольский п-ов, акватория Белого моря с Двинской и Мезенской губами вполне соответствует его внутреннему положению, п-ов

Канин, правда, более массивный, чем в действительности, но, что любопытно, подскается у основания прямолинейным коротким проливом. Наконец, северные реки на пространстве от Онеги до Оби (показанные Герберштейном и Видом лишь в среднем течении) завершают свой бег в океане, вблизи побережья которого располагаются острова Колгуев, Вайгач и даже южная часть Новой Земли. На востоке границы Русского Севера той поры определяются горным хребтом, разделяющим бассейны Печоры и Оби с латинской надписью «Orbis zona montes», явно относящейся к Уралу, в чем Дженкинсон повторяет Герберштейна.

Ситуация в глубине материка также отражена значительно богаче, чем у предшественников, не говоря о многочисленных населенных пунктах по маршруту следования Дженкин-



Фрагмент карты А.Дженкинсона.

сона с берегов Белого моря в Москву. В частности, реальные очертания приобрела Двина в своих верховьях, сливающаяся из Вычегды (Vjichogda) с истоками Сухоны (Sughana) и Юга (Iug). Правда, на этом в общем благополучном картографическом фоне Мещера (Meshera) каким-то образом оказалась в районе между Двиной и Онегой.

Откуда же Дженкинсон взял очертания морского побережья Русского Севера — ведь на картах Герберштейна и Вида, о которых шла речь ранее, их не было? Сам Дженкинсон, проследовавший через горло Белого моря к устью Двины, получить сведения о берегах на пространстве от Рыбачьего до Вайгача не мог — откуда же они появились? По мнению историка Севера В.Ф.Старкова [5], — с карты Уильяма Борро, участника плавания 1556 г., еще до ее публикации в 1570 г. Действительно, очертания побережья на обоих картах повторяют друг друга. Ситуация в глубине материка моряка Борро просто не интересовала. Каким образом Дженкинсон получил эти сведения — неизвестно.

По-иному показано северное русское побережье на карте, опубликованной после экспедиции известного голландского мореплавателя В.Баренца — ее часто называют картой Г.де Фера—В.Баренца. Побережье материка изображено на ней не так, как на картах английских предшественников — здесь береговые очертания более грубые, а размеры о.Колгуев сильно занижены. Однако впервые для этой карты использована математическая основа. Еще одна несомненная заслуга голландских моряков — нанесение на карту западных берегов Новой Земли практически на всем протяжении, хотя и с важными пропусками: например, отсутствуют проливы Маточкин Шар и Костин Шар, причем Вайгач соединен с Новой Землей.

Еще три карты демонстрируют расширение знаний о Русском Севере на протяжении XVII в. Первую — на прибрежную полосу, от Унской губы на Белом море и до Оби включительно, в 1612 г. опубликовал Исаак Масса, «голландский географ, проживший несколько лет в Москве» [2, с.34]. Он детально отобразил дельту Северной Дви-

ны со всеми тремя основными устьями: Карельским (Corelsca), Пудожемским (Podesernsco) и Березовским (Beresova), а также о.Мудьюгский (Modescoy). Далее по направлению к устью Мезени без особого труда опознаются деревня Solotisa (Золотица), устья рек Coeia (Куи) и Coeloeia (Кулоя), а на Конушинском берегу реки Zeitza (Семжа), Malgaia (Мгла), Nees (Несь), а также Titsa (Чижа) и далее к северу Kia (Кия). Наконец, важнейший ориентир при входе в Белое море именно на карте Массы впервые получил наиболее близкое к русскому топониму отображение латынью Sapinnoos (Канин Нос). Столь же детально отображены в топонимах и берега восточнее п-ова Канин: Swetenooos (мыс Святой Нос), реки: Otma (Ома), Voloinga (Волонга), Nidega (Индига), Colocolcova (Колоколкова) и множество других. Карта Массы отражает переход к детальной и подробной характеристике побережья. При этом очертания побережья даны голландцем в типичной русской манере, на что обратил внимание еще А.-Э.Норденшельд, считавший, что Масса опубликовал русскую карту.

Другая карта была выпущена в свет голландским картографом Гесселем Герритсом в 1613 г., причем впервые материковые территории изображены на математической основе с сеткой параллелей и меридианов. На ней отчетливой определились очертания Кольского п-ова и берегов Белого моря, для которого впервые использован латинизированный топоним *Album mare*. В конфигурации его побережья отсутствует лишь Онежская губа с одноименным полуостровом. На западе впервые нанесены оба крупнейших пресноводных озера — Ладожское и Онежское. На карте большое количество населенных пунктов, что отражает заселение берегов Северной Двины. На участке северного побережья между Каниным



Фрагмент карты И.Массы.



Фрагмент карты Г.Герритса.

и Вайгачем по сравнению с картой Дженкинсона (точнее, Уильяма Борро) определились контуры основных заливов — губ Чёской и Хайпудырской. Правда, последняя носит название Коротаева (Korotaeva goeba) по имени впадающей в нее р.Коротаихи. Именно на этой карте впервые появился топоним Gurgorsoy Tzar — Югорский Шар в его современном значении.

Однако и карта Герритса содержит очевидные загадки. Каким-то образом горный хребет с надписью *Orbis zona m.* из междуречья Оби и Печоры с карты Герберштейна оказался юго-восточнее мыса Святой нос, причем с топонимом *Tavonetescoy berg* — на месте современного

Тиманского кряжа, с которого на север стекают реки *Pitzanitz* и *Colocolsova* — современные Песчанка и Колоколка. Поместив реальные горы в районе Святого носа, Герритс одновременно отказался от другой важнейшей горной системы — Урала, в результате чего левые притоки Оби на его карте вплотную приблизились к бассейну Волги, а топоним *Siberia* оказался под Югорским п-овом. (Отметим, что эта ошибка вскоре была исправлена.)

Наконец, еще одна карта на территорию Русского Севера была составлена по каким-то сведениям или получена от русских в готовом виде шведским разведчиком и дипломатом Эриком Пальмквистом не позд-

нее 1673 г. [8]. Она охватывает побережье между п-овом Канин и Югорским Шаром, а также материковую часть на пространстве от Мезени до Печоры.

На этой карте очертания п-ова Канин приобрели реальный характер при сохранении пролива на месте рек Чёша-Чижя. Окончательно оформился в качестве самостоятельного острова Вайгач (о чем знали оба Борро) — вот и все новости на побережье по сравнению с предшественниками.

Самое интересное для нас на этой карте: Тиманский кряж снова показан, как и на карте Герберштейна, — в междуречье Мезени и Печоры. Таким образом, открытие этого важнейшего объекта местности про-



Карта Э.Пальмквиста.

изошло задолго до горного инженера А.А.Кайзерлинга в середине XIX в., как было принято считать. Другая важная особенность этой карты — на ней нарисована граница лесной растительности, проходившая тогда по рекам Цильме и Пезе несколько севернее устья Мезени. Эта характеристика ныне важна для воссоздания природной обстановки того времени.

Обращает на себя внимание значительная заселенность берегов Мезени и некоторых других ее притоков, причем нередко положение населенных пунктов легко отождествляется с современными. По карте Пальмквиста на расстоянии в 100 км можно насчитать до 17 населенных пунктов. Тем самым появляется возможность не только установить возраст, но и понять их топонимику.

Таким образом, старинные карты в значительной мере проясняют общую картину познания географии пространств Русского Севера на протяжении XVI—XVII вв. Однако мы так и не можем назвать имен первопроезжцев этого края, чтобы воздать им должное. ■

Литература

1. Повесть временных лет. СПб., 1996.
2. Визе В.Ю. Моря Советской Арктики. М.; Л., 1948.
3. Магидович И.П. Очерки по истории географических открытий. М., 1969.
4. Рыбаков Б.А. Русские карты Московии XV — начала XVI века. М., 1974.
5. Готье Ю.В. Английские путешественники в Московском государстве в XVI веке. М., 1937.
6. Старков В.Ф. Очерки истории освоения Арктики. Т.1. М., 1998.
7. Фер Г.де. Три плавания. Л., 1936.
8. Сидоров К.В. Новая Земля на картах XVII века. Летопись Севера. Т.2. М., 1957.

Русский путь Терье Скугганда

Л.М.Баскин,

доктор биологических наук

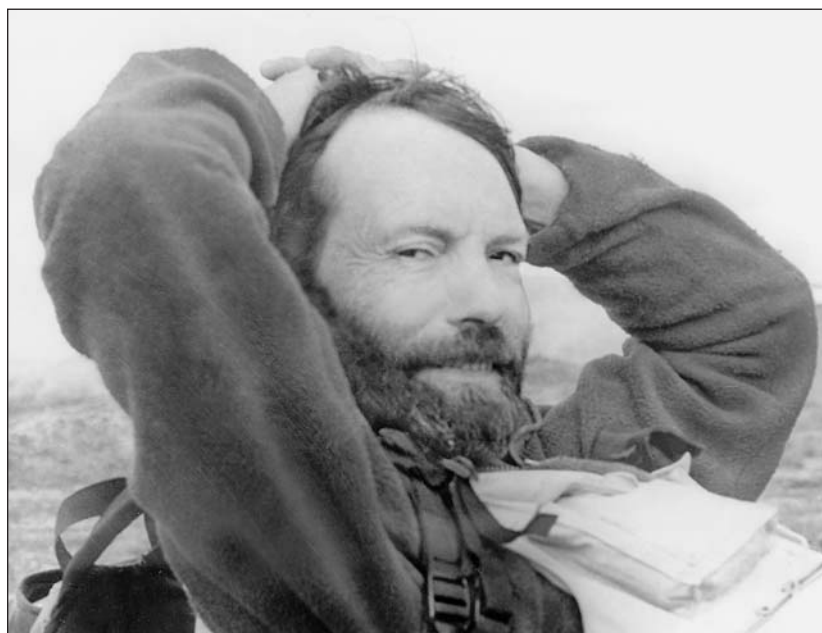
Институт проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН
Москва

Профессор Терье Иоханнес Скугганд (1942—1994) — знаменитый норвежский исследователь северных оленей. Более 30 лет он отдал наблюдениям над их жизнью, опубликовал две книги (*Skogland T. Comparative Social Organization of Wild Reindeer in Relation to Food, Mates and Predator Avoidance. Berlin and Hamburg, 1989; Skogland T. Villrein. Teknologisk Forlag, Oslo, 1994*) и много статей в важнейших международных журналах.

Его работы стали подтверждением «ресурсной» теории — в противоположность «социобиологической». Особую известность принесла ему победа в споре вокруг способов сохранения стад оленей в горах Норвегии. По его рекомендации размер ряда норвежских популяций был уменьшен вдвое, и это сделало их жизнеспособными.

Скугганд пользовался популярностью в мировом сообществе зоологов. Его долгие (по часу) слайд-шоу с успехом демонстрировались на конгрессах. Среди охотников Норвегии Терье был живой легендой. Его последняя лекция весной 1994 г. продолжалась два часа (он читал ее сидя на столе), ее слушали с огромным вниманием и аплодировали стоя.

© Баскин Л.М., 2004



Терье Скугганд. Снимок сделан на Чукотке в 1991 г.

Терье был счастлив в личной жизни. Его дед был единственным в Норвегии губернатором-коммунистом. Отец — командир партизанского отряда — получил тяжелое ранение в бою с фашистами. Жена Скугганда Муна — замечательная драматическая актриса, две дочери тоже красивы и талантливы. Во времена наших путешествий старшая была уже балериной, младшая училась в художественной школе.

Терье Скугганд посвятил пять лет работе в России и умер здесь. Что подвигнуло Терье к исследованиям в нашей стране? Что важного для Норвегии, для России, для науки, для людей надеялся он сделать и что сделал? Чего стоил ему русский путь, русский опыт, победа над бескрайними просторами и девственной природой?

В 1986 г. облака Чернобыля пролились над Норвегией радиоактивными дождями. Спусти



Северные олени в горах Рондане (Норвегия) были самыми «радиоактивными» в мире.



Норвежские зоологи в горах Снэхетта.

два года концентрация радиоактивного цезия в мясе оленей в норвежских горах Рондане, где Скугланд многие годы вел исследования, достигла предельных концентраций — 25 000 Бк на 1 кг при тогдашней санитарной норме не более 600. Обязанностью Скугланда как ученого было предсказать события, предложить правильную стратегию борьбы с последствиями Чернобыльской аварии. Он интересовался также поведени-

ем оленей, что и стало темой нашего сотрудничества.

Чтобы читатель почувствовал, что испытал Терье в России, коротко скажу, как мне давалось освоение Норвегии. Нужно учесть не только разницу в условиях работы, но и различия в психологии. Мой путь в Норвегии начался в Кёнгсвольде, где расположена биостанция Университета Тронхейма. Терье прикрепил к своему снегоходу веревку, дал мне другой конец

в руки. День за днем, несмотря на пургу, он таскал меня на лыжах на буксире по склонам гор Снэхетты. Он редко оглядывался назад, не думал, что мне может быть страшно нестись по обледенелым склонам.

— Полный вперед, — Терье улыбался. Так он жил сам и считал, что так должны жить другие. Ну что ж? С каждым днем я падал все реже.

Мы соревновались, кто быстрее найдет оленей. Чаще счет был равный. Терье удовлетворенно говорил:

— Мы — профессионалы.

Но как-то я несколько минут не мог заметить стадо, уже обнаруженное Терье. Он указывал рукой на оленей, на ложбинку, где разглядел их и, наконец, брякнул:

— Ты становишься слишком стар.

Мы соревновались во всем, я никогда не давал повода думать, что сомневаюсь в его превосходстве. Терье быстро ходил, а я быстро ел, Терье был чемпионом США по лыжным гонкам, когда учился в университете Вайоминга, а я брел по горам, не торопясь, держась принципа: «Тише едешь, дальше будешь».

Рослый и приземистый, тонкий и толстый, нервный и спокойный — мы сильно разнились и тем сильнее оказалась наша дружба.

Остров Врангеля

Терье отстреливал оленей, брал образцы тканей, чтобы потом в Норвегии измерить их радиоактивность и содержание тяжелых металлов. Я изучал поведение животных. Однажды мы шли вдвоем по затвердевшему снегу, по склону, опасаясь, как бы не покатиться вниз. Впереди был заметен провал на снегу, что-то вроде окна. Мы одновременно поняли, что три ярко черных пятна в окне — это нос и глаза медведицы. Шорох шагов с гулом разносился по снежной толще.

— Она с медвежатами, — сказал Терье. — Будем понемногу отступать. Я думаю, лучше не поворачиваться к ней спиной.

Медведица, конечно, не тронулась с места. В это время ее тревожит только безопасность малышей. Она сидит, спрятав на брюхе медвежат, и не выходит из берлоги, даже если подойти к ней на пять метров.

Мы планировали добраться до бухты Сомнительной, где был кордон заповедника — несколько домиков и несколько жителей. Терье шагал впереди в своем темпе. Сквозь разыгравшуюся пургу едва проглядывали косяги. Приходилось идти по компасу. В снежной круговерти я едва видел спину Терье и шел за ним, стараясь ступать след в след. Я вяз по колено, однако мне было несравненно легче, чем Терье, пробивавшему дорогу. Все же часа в два пополудни я потребовал отдыха. Не то чтобы сильно устал, а просто считал, что это необходимо после семи часов ходьбы.

Посидев пятнадцать минут на снегу, отправились дальше. Ветер, к счастью, дул в спину, идти было нетрудно. Река, вдоль которой мы шли, наконец выбралась из гор на равнину, и Терье, оставив русло, строго по компасу направился к морю. Часа три, уже в темноте, мы двигались по льду. Приходилось то и дело карабкаться на торосы. Сил становилось все меньше, а ветер как назло усилился, дул в лицо. Лед от дыхания неудержимо нарастал на бороде у Терье, у меня на усах, ресницах, вскоре начали обледеневать лица. Приходилось то и дело оттирать ледяной панцирь, закрывавший глаза.

В какое-то мгновение я потерял Терье из вида. Страшно испугавшись, я метался взад-вперед. Повторял себе одно и то же:

— Что я скажу в Норвегии?

Когда, наконец, встретились, Терье признался:

— А я уже отчаялся. Думал — как я объясню, что не усмотрел за тобой.

Уже не друг за другом, а рядом, поддерживая и успокаивая друг друга, мы шли и шли. В шесть утра, когда рассвело, Терье заметил в бинокль домики. Еще через час после этого и ровно через сутки после выхода из приюта мы добрались до маленького поселка.

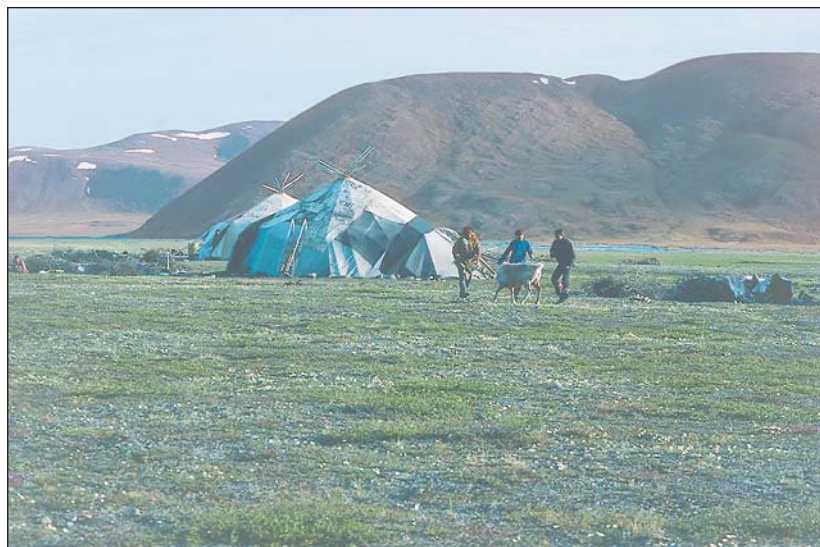
Чукотка

Неделю мы ждали оказии на мысе Шмидта, чтобы улететь на вертолете в бригаду оленеводов. Ожидание всегда было нестерпимо трудным для Терье. Однажды он спросил меня, почему в России все происходит внезапно. Не поняв, я переспросил. Терье объяснил, что часто мы ждем чего-то несколько дней, а потом вдруг все начинают бегать, торопиться. Слушая Терье, я догадался, в каком глубоком информационном вакууме он жил. Не зная языка и получая информацию большей частью от меня, он не всегда мог уследить за деталями: где-то улучшилась погода, починили вертолет, начальник аэропорта принял решение и т.п. Поэтому Терье постоянно держал свой рюкзак собранным, не желая быть застигнутым событиями врасплох.

Поставив свою крошечную палатку, мы жили вместе с пастушеской бригадой. Ранним утром наскоро завтракали и расходились. Терье шел искать диких оленей, а я работал с домашним стадом.

Пастухи сказали нам, что на террасе Паляваам, от нашего лагеря километрах в двенадцати, есть волчий городок. Разыскать его оказалось нетрудно. Холм на террасе издалека был заметен по свежим выбросам земли. Здесь дурно пахло, валялись кости, помет. Если мать внутри норы, со щенками, у нас мало надежды как-либо выманить волчат наружу. Все же попробовали: отошли от норы, и я завыл, стараясь брать тон ниже, подражая самцу, — как бы он возвращается с охоты. Эффекта не было, и мы отправились домой. Уже издалека увидели волчицу на холме, она провожала нас взглядом.

От волчьего городка возвращались вдоль реки, по кочковатой тундре. К вечеру, уже порядком уставшие, мы мало глядели вокруг, как вдруг резкое тарахтенье заставило поднять голову: прямо перед нами, может быть в десятке метров, стояла пара журавлей. Они чувствовали себя хозяевами участка и не желали пропускать чужаков.



Пастушеский лагерь на Чукотке.

Пока Терье фотографировал прекрасных птиц, я осмотрелся, глядя в бинокль, и поодаль заметил трех оленей. Сравнение пугливости оленей в зависимости от интенсивности охоты, от частоты встреч с человеком входило в наши задачи. Надо отметить, что олени Норвегии самые пугливые в мире. Охота здесь разрешена в течение очень короткого периода, за который охотники отстреливают до трети всех оленей. По данным Терье, каждая группа подвергается опасности 2–3 раза в течение дня.

Я считал пары шагов. Олени заметили нас с 470 м, еще через несколько минут сошлись в маленькую группу, а когда мы приблизились на 380 м, бросились бежать. Бегство оленей привлекло к нам внимание. Крупный медведь, поднявшись на задние лапы, смотрел в нашу сторону. Он пытался понять, с кем встретился, стоял долго и вдруг резво двинулся к нам. Терье возбужденно фотографировал, сбросив свой рюкзак. Ветер дул от медведя на нас, и подслеповатый зверь, вероятно, не мог распознать людей. Я прошел несколько шагов — двуногая ходьба обычно хорошо отличает человека. И точно, медведь круто повернул и характерным медвежьим галопом, отталкиваясь тремя лапами и приземляясь на одну, словно поддерживая себя в воздухе, чтобы удлинить прыжок, помчался прочь.

Однажды вечером Терье предложил мне:

— Давай подыдемся завтра к снежным баранам. Думаю, никто из европейцев еще не фотографировал их на Чукотке.

— Уверен, — согласился я. — Но иди один, я предпочел бы завтра понаблюдать за домашними оленями, оценить, насколько они пугливы.

Вечером, вернувшись в лагерь уже на закате солнца, я нашел Терье, отдыхавшего в палатке. Он тотчас вылез, зажег примус, предложил:

— Как насчет датской еды, есть свинина с бобами?

— Я готов, — ответил я. Хотя как раз сегодня пастухи закололи оленя. Я рассчитывал похлебать жирного бульона, котел с мясом уже висел над костром.

— Но потом мы поедем оленины и выпьем бульона. О-кэй?

— О-кэй, но мы еще достанем спирта и угостим пастухов, — сказал Терье. Чувствовалось, что гордость переполняет его.

— Я действовал как настоящий охотник. Обнаружил баранов в бинокль и карабкался к ним три часа. Они ничего не подозревали. Одна группа сама подошла ко мне метров на 20. Они слышали, как работал мотор фотоаппарата, но не понимали, что это. Я снял две пленки. Это будут замечательные фотографии.

Накрапывал дождь, с хребта над нами спускалась пелена облаков. Лиса сидела на холме и с той стороны реки смотрела на наш лагерь. Окружив костер, мы говорили о чем-то, временами выпивали по несколько капель спирта, смеялись. И были счастливы.

Как-то днем мы устроили себе маленький праздник — вскрыли и съели банку персикового компота. Потом воспользовались ею, чтобы вскипятить воду и заварить чай. Глядя на взлохмаченного, в прожженной одежде Терье, державшего банку с водой над костром, я подумал, как преобразили его два месяца в России. Он приехал слегка высокомерным иностранцем, признававшим только самое лучшее, самое современное, самое дорогое. А сейчас передо мной был человек, на шаг вернувшийся к примитивной жизни и чувствовавший себя счастливым.

Болезнь

Всего-то через месяц, по возвращении в Норвегию, Терье услышал приговор врачей:

— Нужна срочная операция, ваша жизнь в опасности.

Мы продолжали еще три года работать вместе и в Норвегии,

и в России. В перерывах Терье лежал в больницах. Врачи боролись за его жизнь.

Кольский полуостров

На подъезде к Мончегорску Терье попросил остановиться, чтобы сфотографировать мрачную картину мертвого леса на фоне гигантского комбината. Водитель, засмеявшись, сказал:

— Сколько вожу сюда иностранцев, все фотографируют с этого места. Любимая картинка.

Казалось вполне очевидным, что ядовитые выбросы Мончегорского комбината, поднявшись вверх по склону гор, оседают на оленьих пастбищах Лапландского заповедника, расположенного как раз над Мончегорском. Мы предполагали, что олени заповедника должны были особенно страдать от загрязнений, болеть, иметь генетические нарушения. Однако действительность оказалась иной. Выбросы комбината погубили пастбища, оленям нечего стало есть, и они ушли за пределы заповедника. Ушли, чтобы быть уничтоженными охотниками. Как оказалось, уже 15 лет никто не видел оленей ни в заповеднике, ни в его окрестностях.

Наняв биплан АН-2, мы сделали облет Кольского п-ова. Самолет барражировал над высокими горами. Мы то влетали в облака, присевшие на крутых склонах гор, то вновь вырывались на сверкающий простор плато.

— Дикие олени, — закричал Терье. Тотчас летчики заложили немыслимый вираж, вернулись туда, где Терье заметил 400 оленей.

Мы были счастливы. Оказывается, самая восточная популяция горных северных оленей, тех же, что населяют горы Снёхетты, выжила, и Терье был первым, кто нашел их после 15 лет неизвестности. Прошло еще пять лет, прежде чем сотрудники заповедника вновь нашли это стадо и подтвердили, что популяция существует.



На Кольском полуострове. Сбор образцов домашних северных оленей.

Мы взяли массу анатомических образцов оленьих тканей в Ловозере — большом поселении саами. Следующим этапом был Терский Берег — юго-восток полуострова, где обитала значительная популяция оленей. Наконец, мы перебрались на границу Финляндии и Карелии. Только новая эпоха могла позволить группе иностранцев оказаться на границе, за двумя линиями заграждений. Контраст карельской и финской сторон был разительным. С русской стороны — девственные леса, непуганые олени, волки, рыси и глухари; с финской — молодые леса на местах вырубок.

Стояли сильнейшие морозы. Я был одет в овчинный полушубок и олени сапоги, бедный Терье — в свою лучшую норвежскую одежду, включая пуховую куртку. Страдал он от мороза сильно. Всего лишь месяц назад

он вышел из госпиталя после химиотерапии — ни прекрасных волос на голове, ни обычной для Терье бороды не было. Командир заставы раздобыл из запасника шерстяное белье, которое русские водолазы надевают под скафандр. Уже через полчаса Терье был вынужден расстегиваться. Русская одежда грела слишком жарко.

Мы прощались с администрацией Мурманской области, рассказывали о том, что сделали. Терье говорил:

— Весь мир представляет себе Кольский полуостров прежде всего как панораму дымящих труб металлургических комбинатов. Пятна разрушения лесов вокруг Никеля и Мончегорска действительно неприятно поражают. Но все это пока очень далеко от ситуации в Западной Европе. Там огромные массивы леса уже погибли. Я облетел вашу область

на самолете и поразился, какие огромные пространства совершенно не населены, сохраняют свою девственную природу. Все постоянно говорят о загрязнении, идущем с Кольского полуострова на запад. Но здесь крупнейший в Скандинавии очаг девственной природы. Отсюда пришли в Финляндию лесные олени, которыми финны очень гордятся, волки, которых мы пытаемся сохранить в Норвегии.

Лаборатория, исследовавшая наши образцы оленьих тканей, не обнаружила в них повышенного содержания никеля. Сколько бы ни загрязняли округу заводы Никеля и Мончегорска, в организм оленей никель не попадал, поскольку раньше умирали лишайники. В грибах, в бруснике никеля было во много раз больше нормы, а в оленье мясе металл содержался в допустимых количествах. Анализы

наших образцов дали неожиданные результаты. Самыми радиоактивными и загрязненными тяжелыми металлами оказались олени Норвегии.

Остров Вайгач

В июне 1992 г. Терье прилетел в Москву. Мы собирались исследовать оленей на о. Вайгач. Осадки от самых мощных в истории ядерных взрывов в атмосфере в 1960-х годах выпадали прежде всего на Вайгаче.

Вечер после прилета Терье в Москву мы провели очень приятно. А утром он не вышел из своей комнаты. Я постучал к нему, заглянул. Терье, бледный и страдающий, сказал, что совсем не спал, его мучила сильнейшая боль. Через час надо было ехать в аэропорт.

— Вы не можете ехать, когда Терье в таком состоянии, — сказала моя жена. Я предложил отложить полет, но он подтвердил, что мы полетим.

Через два часа мы сидели в зале ожидания аэропорта. Объявили посадку. Путь до самолета Терье преодолел благополучно. В самолете стюардессы, видя, что Терье плох, предлагали помощь. Мы летели на Север, нам предстояло «выжить» на полярном острове.

В Амдерме начальник аэропорта принял живейшее участие в нашей судьбе. На своем джипе отвез в гостиницу, велел дать лучший номер. Вечером он же позвонил нам и сказал, что геологи, в чьем распоряжении в то время находились вертолеты, постараются подбросить нас попутно на Вайгач. Начальник аэропорта был лишь одним из многих русских людей, готовых помочь всем, чем нужно, когда слышали о больном норвежце и наших планах подобраться поближе к оленям.

Пришло утро. Терье хорошо спал ночью, чувствовал себя неплохо. Утром к гостинице подошел огромный грузовик, приспособленный под перевозку

рабочих из геологического управления, мне помогли перетаскать багаж. Уже и Терье был способен поднять свой рюкзак. В аэропорту мы прождали едва ли час, как последовала команда грузиться.

Наконец мы на Вайгаче. Теперь, когда приступ болезни остался позади, я решил спросить Терье, правильно ли он поступает, отправляясь вновь и вновь в нелегкие походы.

— Ты считаешь, что было бы лучше остаться дома. А кто же сделает мою работу?

Подумав, Терье добавил и совсем личный резон:

— Сара (младшая дочь) часто плачет, но старается скрыть от меня. Неужели я должен видеть, как Муна (жена) и дочери страдают от бессильного желания мне помочь.

Пастухи держали оленей вольно. Мы отыскивали стадо в 5—10 км от поселка. Это был период отела. Терье подкрадывался к телящимся самкам, ловил и взвешивал новорожденных оленят. Я изучал поведение оленей.

В маленькой избушке на краю Варнека мы навестили единственную оставшуюся в живых свидетельницу переселения (в связи с созданием ядерного полигона) с Новой Земли на

Вайгач. В избе было холодно и почти пусто: стол, две табуретки и железная кровать. Небольшие запасы крупы, соль, хлеб хранились на подоконнике. Терье с нежной улыбкой фотографировал старую женщину, пока она рассказывала о своей жизни.

Горы Форелогна в Норвегии

Терье лежал в больнице, проходил курс химиотерапии. Я работал один в горах Форелогна. У меня был план гор, где помечены приюты, в которых можно остановиться. Как-то три дня я не мог найти оленей. Погода стояла неважная, видимость была плохая. Время шло без пользы. Я позвонил Терье по мобильному телефону в больницу, попросил помочь.

Следующий день выдался морозным и солнечным. Около 8 утра я вышел из приюта. Моя лыжня четко просматривалась на снежной целине. Около 10 над мной появился желтый самолетик. Сделав несколько виражей, он сбросил вымпел. Я получил карту, на которой было показано: «Олени находятся здесь. Иди туда». Самолетик улетел, а я пошел через три перевала к стаду.



На острове Вайгач.

Уже наступил вечер, когда я, отработав дневной план, стал соображать, где мне ночевать. Я был плохо одет. Ближайший приют находился в десятке километров. Когда работаешь в одиночку, соблюдаешь предельную осторожность. На пути встретилось глубокое ущелье. Пересекать его ночью, спускаться по твердому снегу на дно, не зная, что впереди, было бы глупо. Обход отнял у меня полночи. Мороз был невелик, может быть градусов 15, но для усталого, пропотевшего человека вполне достаточный. Одна радость — надо мной, не переставая, играло северное сияние. Валы света каптились по небу, вдруг возникало розовое море, потом начинали преобладать голубые цвета, зеленые. Вконец измученный, я брел к приюту, помеченному на карте.



Приют в горах Норвегии.

Большеземельская тундра

Вертолет вез на нефтяную буровую сменную бригаду. По пути, в точке, которую мы указали, он завис в метре от земли. Мы выбросили наружу свои рюкзаки и коробки и прыгнули сами. Неподалеку было море. От него в глубь материка тянулась низменная, очень мокрая тундра. Километрах в пяти от нас виднелись конусы пастушьих чумов.

Подъехал на упряжке из пяти оленей молодой пастух. Поздоровался, спросил, куда идем, взял Терье на нарту, а за мной обещал вернуться. Галопом помчались олени — перепрыгивали ручьи, подымали веером брызги.

Терье был в восторге, знакомясь с жизнью ненцев. Эти последние настоящие кочевники в Европе обладали массой навыков работы с оленями, налаженным бытом, своеобразной одеждой. Наши хозяева, славные люди, приняли нас приветливо. Впрочем, и мы не были скрягами. Дарили пастухам, что имели — то термос, то примус, то нож.



Терье Скугланд на стоянке энцев в устье Енисея.

Забивать оленей летом пастухи не любят — какохранишь мясо?! Но ради того, чтобы мы могли получить образцы, бригадир двух оленей забил, рассчитывая завялить мясо. Еще пять мы договорились купить и погрузить на вертолет, когда будем улетать.

Таймыр

Анализы образцов, добытых нами от Кольского п-ова до Чукотки, вполне доказывали, что олени России чисты от радиоактивных веществ. Что же касает-

ся тяжелых металлов, которые иногда в значительном количестве обнаруживались в печени и почках оленей, то связано это было с местными особенностями почв.

Однако у нас не было образцов с Таймыра, где расположены крупнейшие рудники и заводы. К тому же численность диких оленей на полуострове очень велика.

Мы отправились на Таймыр. Это было в октябре 1993 г. Терье оставался один год жизни, но чувствовал он себя относительно неплохо. Октябрь на



На подъезде к фьорду, где жил и сочинил свои лучшие произведения Эдвард Григ.

Таймыре — уже зимний месяц. Снега выпало немного, но морозило до 20°C. Мигрирующие стада оленей были еще далеко от Норильска. Мы летели час, два, три. Под нами расстилась заснеженная тундра, бесчисленные озера и реки. Нигде ни следа деятельности человека. Сто лет назад путники заметили бы тут и там маленькие стойбища аборигенов: один-два чума, санки рядом с ними, 20—30 домашних оленей. В советское время аборигенов собрали в несколько крупных поселков. Тундра опустела.

Еще десять минут полета, и тундра оживает: под нами десятки тысяч оленей. Летчики возбуждены, собираются атаковать оленей, и я с трудом уговариваю их подождать. Нам надо развернуть полевую лабораторию. Неподалеку на озере есть

стоянка рыбаков. Там нас высаживают. Едва мы успеваем разложить банки с фиксирующей жидкостью и инструменты, как вертолет снова над нами, снижается, зависает над землей. Из вертолета выбрасывают десятки туш оленей. Уже смеркается, и мы торопимся взвесить каждое животное, измерить, взять образцы костей, мышц, содержимого желудка, печени, почек. Ветер, мороз, темнота... Тяжелая работа. Терье, сильно исхудавший за годы болезни, ослабевший, сильно мерзнет.

Последний маршрут

Терье умер во время последней экспедиции на Кольский п-ов. Его тело привезли в Норвегию. Согласно завещанию, прах развеяли в горах, близ Кенг-

свольда, там, где начинался наш совместный путь.

Результаты совместных норвежско-российских исследований опубликованы в России и за рубежом. Вот список публикаций в России:

Скугланд Т., Баскин Л.М., Эспелиен И., Странд У. Содержание тяжелых и радиоактивных металлов в теле северных оленей из разных популяций // Вестник Московского университета. 1997. Сер.5, география. №6. С.19—24;
Баскин Л.М., Скугланд Т. Выбор направления движения северными оленями при оборонительном поведении // Докл. АН СССР. 1998. Т.363. №5. С.705—706;
Баскин Л.М., Скугланд Т. Бдительность и пугливость северных оленей: популяционные различия // Журнал общей биологии. 2001. Т.62(1). С.92—98. ■

СИМВОЛ ВОЗРОЖДЕНИЯ ПОРУГАННОЙ ГЕНЕТИКИ

К 100-летию Бориса Львовича Астаурова



1904–1974

«Он один — ему нет равных. Кто был, погибли или изгнаны — Вавилов, Шмальгаузен, Орбели — великие из великих. Астауров остается единственным в своем роде. Вершина конуса — вершина страданий», — так писала Р.Л.Берг в своей книге «Суховой», так воспринимали Астаурова его современники, так вспоминают о нем в вышедшей недавно книге «Борис Львович Астауров. Очерки, воспоминания, материалы» (М., 2004) друзья и близкие, ученики и соратники, все, кто был с ним знаком.

Для нашего журнала Борис Львович не просто крупнейший экспериментатор, академик, создатель и директор Института биологии развития, продолжавший традиции Н.К.Кольцова. Он вошел в редколлегия «Природы» в мае 1965 г. Это был не формальный, а весьма ответственный шаг. Борис Львович решил привлечь к борьбе против еще не изгнанной лысенковщины журнал (тогда его тираж был более 20 тыс.), адресованный более широкой аудитории, чем специальные академические журналы. Своим помощником в этом благородном и трудном деле он выбрал Владимира Матвеевича Польшина. Астауров хорошо знал этого талантливого журналиста, увлеченного естественными науками, прошедшего научную школу на семинарах В.В.Сахарова. Он фактически дал путевку в жизнь книге Польшина «Мама, папа и я», первому в нашей стране популярному изданию о еще недавно запрещенной науке. Большое предисловие Астаурова — это блестящее эссе о проблемах наследственности и одновременно прекрасная рецензия, подчеркивающая сильные стороны книги: «Главные концепции книги правильно передают те общие итоги современной генетики, которые незыблемо утверждены всем ходом развития науки, выдержали проверку временем и испытания на пробном камне практики. <...> Примитивно-обыва-

тельские биологические представления живут и еще довольно широко распространены. Предубеждения, еще бытующие в практических сферах применения биологии (в зоотехнике, агрономии и медицине), упорно цепляются именно за них». Борис Львович понимал, что в борьбе за укрепление позиций истинной науки его правой рукой в журнале будет журналист, хорошо ориентирующийся в вопросах биологии (астауровской линии Владимир Матвеевич неукоснительно следовал всегда).

Имея такого помощника, Борис Львович, несмотря на свою занятость, в 1968 г. стал заместителем главного редактора «Природы» и курировал всю биологию в журнале. Он оставался членом нашей редколлегии до конца своих дней и своим авторитетом не раз помогал разрешать трудные ситуации, а общение с ним всегда доставляло радость.

Отмечая 100-летие Бориса Львовича, мы хотим прежде всего предоставить слово самому юбиляру. Предлагаем читателям не вошедшие в книгу автобиографию и выступление Астаурова на первом общем собрании Института биологии развития, а также статью члена-корреспондента РАН Л.И.Корочкина, считающего себя прямым последователем Бориса Львовича, и подборку фотографий, любезно предоставленных нам внучкой Астаурова, кандидатом биологических наук Е.Б.Астауровой. В подписях к ним мы использовали в основном фрагменты из воспоминаний, опубликованных в замечательной книге «Борис Львович Астауров», собранной в институте, которым он руководил. Надеемся, что наша публикация сможет увидеть многогранность талантов и человеческое обаяние Бориса Львовича Астаурова

Автобиография

Родился в 1904 г. 14 (27 нов. стиля) октября в г. Москве. Отец и мать — служащие (врачи). Окончил Московский университет по специальности «зоология» в 1927 г. При Научно-исследовательском институте зоологии прошел трехлетний курс аспирантуры, специализируясь в области генетики. Работать начал сразу по окончании средней школы. Сначала не по специальности. В 1924 г.* начал

* Еще студентом Астауров в 1924 г. был зачислен сотрудником в возглавляемый Н.К.Кольцовым Институт экспериментальной биологии, который в то время активно работал. Профессор С.С.Четвериков пригласил Астаурова на должность лаборанта в отдел генетики. Тогда же Борис Львович стал участником организованного Четвериковым неформального научного собрания — знаменитого «Соора» («совместного орангия»). Попасть туда было непросто: требовалось владеть тремя европейскими языками и получить единогласное согласие участников «Соора». Это определяло полную доверительность и взаимное уважение участников дискуссий. Кстати, Борис Львович владел немецким, английским, французским языками, а итальянский выучил самостоятельно.



Родители. «Лев Михайлович Астауров был сначала земским врачом, во время первой мировой — военным врачом, работал в разных частных клиниках и за 52 года врачебной практики знал очень много, от хирургии до психиатрии. Мать, Ольга Андреевна Тихоненко, училась в Сорбонне и до разрешения абортот была гинекологом, а после разрешения из принципиальных соображений гинекологию бросила и лечила детей... Поженившись, они ездили на холеру. Таким образом, еще от своих родителей отец научился деятельной доброте, отзывчивости и нетерпимости к злу» (О.Б.Астаурова).



В лаборатории Института экспериментальной биологии. Слева направо: Д.Д.Ромашов, Н.К.Беляев, С.С.Четвериков, А.И.Четверикова, Е.И.Балкашина, А.Н.Пролетов, С.С.Гершензон, Б.Л.Астауров. «Вместе с Четвериковым нас было 12 человек... Материалы работ четвериковской группы 1925—1926 гг. были опубликованы только частично в 1921—1930 гг. Е.И.Балкашина и А.Н.Пролетов опубликовали данные по ряду изученных ими популяций *Drosophila funelris* Fabr. В 1934 г. опубликовал материалы по *Dr.obscura* С.М.Гершензон. Данные, полученные по *Dr.vibrissima*, *Dr.phalerata*, *Dr.transversa* Е.И.Балкашиной, Н.К.Беляевым и Б.Л.Астауровым, были кратко опубликованы лишь в 1935 г.» (Б.Л.Астауров).

работать по специальности в качестве научного сотрудника-биолога до 1926 г.* сверхштатно. С 1927 по 1930 г. работал старшим научным сотрудником КЕПС Академии наук. В 1930 г. перешел на работу в Среднеазиатский институт шелководства (Ташкент), где по 1935 г. руководил группой «генетики гибридизации». В это время принимал большое участие в ряде новых научно-практических начинаний в области рационализации социалистического шелководства (организация племенного дела, внедрение гибридов и повторных промышленных выкормов и др.). С конца 1935 г. пере-

* В 1926 и 1927 гг. Борис Львович участвовал в изучении геленджикской популяции *Drosophila melanogaster*. В этом исследовании у него проявился талант наблюдателя.

шелся на работу в Москву в Институт экспериментальной биологии Наркомздрава, в дальнейшем переименованный в Институт цитологии, гистологии и эмбриологии АН СССР и далее реорганизованный в 1948 г. в Институт морфологии животных им.А.Н.Северцова АН СССР. В последнем работаю в качестве зав. Лабораторией экспериментальной эмбриологии им.Д.П.Филатова до настоящего времени.

Работая в Москве, не прерывал связи с отраслевыми научно-исследовательскими учреждениями по шелководству: с 1940 по июнь 1941 г. — консультант Украинской научно-исследовательской станции шелководства; во время Великой Отечественной войны с декабря 1941 г. по октябрь 1943 г. работал в эвакуации по шелководче-

ской тематике на базе Казахского филиала АН; с 1944 по 1948 г. — консультант научно-исследовательской станции шелководства РСФСР.

С 1949 г. до сего времени веду ряд исследований в контакте с Грузинским научно-исследовательским институтом шелководства (г.Тбилиси), а с 1964 г. в контакте со Среднеазиатским научно-исследовательским институтом шелководства (г.Ташкент). Помимо исследовательской работы постоянно руководил аспирантами и докторантами, эпизодически читал спецкурсы в вузах по генетике, селекции и эмбриологии. Веду разнообразную общественную и научно-организационную работу: с 1935 г. длительно сотрудничал в Комиссии по испытанию технических культур при



Б.Л.Астауров. 1927 г. «Уже в первых своих публикациях 1927 г. по изменчивости проявления у *Drosophila melanogaster* геновариации... найденной им в феврале 1935 г. на генетическом практикуме у Четверикова, Б.Л.Астауров проявил черты искусного и вдумчивого наблюдателя, экспериментатора, аналитика и мыслителя» (В.И.Иванов).

М.С.Х. Председатель секции генетики Московского общества испытателей природы и член Совета общества; член Национального комитета советских биологов, член Совета общества «Знание». Член редакций журналов «Генетика», «Цитология», «Бюллетень Московского общества испытателей природы» и «Природа»; член ряда научных советов: а) по молекулярной би-

ологии; б) по цитологии; в) по закономерностям индивидуального развития; г) по генетике и селекции; д) по кибернетике и др. Член ученых советов Института морфологии животных и Института молекулярной биологии. С 1963 г. являюсь членом экспертной комиссии ВАК и с того же года членом Комитета по Ленинским премиям. Состою членом экспертных комиссий по премиям им.Н.И.Вавилова и И.И.Мечникова и зам. председателя Оргкомитета XIII Международного энтомологического конгресса. В 1936 г. по совокупности работ получил степень кандидата биологических наук; в 1938 г. защитил степень доктора биологических наук; в 1944 г. получил звание профессора; в 1958 г. избран членом-корреспондентом АН СССР по специальности «Цитология». В 1954 г. окончил вечерний Университет марксизма-ленинизма. В 1958 г. Комитет по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР присудил мне с приоритетом 1947 г. диплом №2 за открытие; в 1963 г. дипломы на изобретение двух методов прижизненного термического обеззараживания гены (авторские свидетельства №169351 и 169352).

Был участником 2-й и 3-й Всесоюзных сельскохозяйственных выставок и Выставки достижений народного хозяйства в 1963 г., получив Серебряную медаль. Награжден Орденом Трудового Красного Знамени в 1953 г; медалями «За доблестный труд» и «В память 800-летия Москвы»; неоднократно награждался почетными грамотами,

в том числе от газеты «Правда» в 1963 г., имею ряд премированных, благодарностей в приказах и прочее.

В 1956 г. избран действительным членом Международного института эмбриологии (Голландия, Утрехт) [Архив РАН, Ф.411, Опись 3, № 340, л.27–28, машинописная], в 1960 г. членом Международного общества биологии клетки, а также членом Американского общества зоологов.

На XI Международном генетическом конгрессе (Гаага) избран членом Международного оргкомитета, председателем XII Международного генетического конгресса (Токио, 1968). На Международных торжествах в Чехословакии (1965), посвященных столетию открытий Менделя, удостоен Мемориальной Менделевской медали.

Общее количество моих печатных, научных, научно-популярных и публицистических произведений превышает 140*.

Ни я сам, ни мои близкие родственники не лишались избирательных прав и не были под судом и следствием (отец, впрочем, не раз арестовывался в царское время в 1904–1906 гг.) После революции никто из нас не подвергался репрессиям и не проживал на иностранных или оккупированных территориях.

За границей я был семь раз на международных научных съездах: в 1956, 1957, 1958, 1963, и 1965 гг. — один раз в США, три раза в Англии, один раз в Чехословакии и два раза в Финляндии.

* В 1966 г. избран действительным членом Академии Наук СССР.

Рождение института*

Б.Л.Астауров

<...> 15 июня 1967 г. в соответствии с мартовским постановлением Президиума Академии наук СССР формально родился Институт биологии развития. С этого дня на меня выпала нелегкая доля стать первым его директором. Хочу кратко информировать вас о состоянии дел с организацией Института и высказать некоторые общие соображения относительно его ближайшей и дальнейшей перспективы. Круг вопросов, естественно, очень широк, <...> но прежде всего хотелось бы подчеркнуть, что 15 июня родился не только Институт биологии развития, но и его собрат — Институт эволюционной морфологии и экологии им.А.Н.Северцова. Таким образом, на свет появились два близнеца, но совершенно не идентичных по своим целям и задачам. Один из них, наш институт, будет разрабатывать увлекательные проблемы индивидуального развития. <...> Другой братский институт будет заниматься вопросами исторического развития животных — филогенезом, эволюцией животного мира.

При всей очевидной взаимосвязи и взаимообусловленности индивидуального и исторического развития это все-таки два совершенно различных процесса. Один, протекающий в преде-

лах единственной особи, как говорится, от яйца до яйца, длится минуты, часы, быть может, самое большее, годы; другой, протекающий в совокупностях особей, популяциях, видах, сообществах и в более крупных подразделениях животного мира, идет в бесконечной череде поколений в течение тысячелетий и миллионов лет. Несмотря на взаимообусловленность этих процессов, их непосредственные причины и движущие силы совершенно различны. Перед нами по существу два разных круга биологических явлений, а вместе с тем два разных круга задач и подходов, две группы наук, сообща разрабатывающих эти области, но использующих разные методы.

Говорю об этом потому, что иногда существует точка зрения, что деление материнского Института морфологии животных происходит не из-за насущных потребностей науки, а по иным причинам. И с другой стороны, есть не столь крайняя точка зрения, выражающая вполне понятное и естественное сожаление о том, что люди, казалось бы, дружно работавшие в одной области и в одном коллективе, должны расходиться по разным путям. <...> Но дело именно в том, что это разделение материнского института обусловлено реальными потребностями роста науки, и в частности биологии развития. Все очень хорошо знают, что в эту область, вышедшую на передний край биологии, устремляются интересы многих со-

предельных наук, например генетики, экологии. В этой области сегодня больше непонятого, чем где бы то ни было. Биология развития во всем мире очень широко развивается, растут новые институты, возникают новые издания, сюда устремляются передовые силы. На мой взгляд, мы имеем основания не жалеть о произошедшем разделении, а принять его с чувством благодарности и удовлетворения, потому что в данном случае понята потребность биологии <...>

Все хорошо знают, что вынашивание двух новых младенцев было очень длительным, тягостным и сложным. Мы ждали этого дня долго, терпеливо, а порой и нетерпеливо. Надо признать, что условия работы материнского Института морфологии животных были трудными. Инициатива была скована, возникали постоянные коллизии в преддверии деления, требовались исключительные выдержки и такт, чтобы руководить Институтом морфологии животных. Я думаю, однако, что коллектив в значительной мере не замечал трудностей и жил, в общем, своей нормальной жизнью. В этом большая заслуга предшествующего руководства и, прежде всего, исполнявшего обязанности директора Михаила Семеновича Мицкевича, его заместителей, особенно Владимира Михайловича Горбунова и всего достаточно слаженного административного аппарата. Но конечно, основная тяжесть ответственности лежала на плечах Мицкевича. Считаю своим весь-

* Сокращенный вариант выступления Б.Л.Астаурова на первом общем собрании ИБР (15 июня 1967 г.). Магнитофонную запись, хранящуюся в архиве Н.Б.Астауровой, расшифровала Е.Б.Астаурова.

ма приятным долгом поблагодарить от имени нашего коллектива в лице Михаила Семеновича все руководство нашего бывшего Института. <...>

Все это была присказка, или, выражаясь высоким стилем, преамбула, но теперь я перейду к основной части сообщения: расскажу о том, как обстоит дело с важнейшими сферами деятельности нашего института. Несомненно, первое и самое главное в научном учреждении, что делает его действенным или бездейственным, — это научное содержание, тематика, которую он разрабатывает. Поэтому надо уделять величайшее внимание именно этому вопросу. <...>

Хотя наша тематика стала несравненно более сглаженной по сравнению с той чрезвычайно разнородной, конгломератной, которая была в Институте морфологии животных, мы все же возникли не по какому-нибудь предначертанному ранее идеальному плану, а путем деления лабораторий, научных идей, направлений, уже имевшихся в материнском институте. Нельзя требовать, чтобы при этом содалось действительно идеальное и гармоничное целое, которое хотелось бы видеть. Вот поэтому перед нами, в отношении проблематики, не сейчас, а вскоре, встанут задачи ее дальнейшей разработки: поиски горячих точек в областях, в которых следует работать, пересмотр того, что мы делаем сейчас.

Я прошу никого не пугаться. Ваш директор не собирается делать никаких крутых телодвижений, но такая задача перед всем коллективом несомненно будет стоять. Оттого, как мы ее решим, будет зависеть, насколько мы будем действительно работать. В силу чисто формальных причин особенно острой эта задача будет для вновь возникающих лабораторий. <...> Я не предвижу никаких крутых переломов, но мы должны стараться избавиться от исторически возникших почти во всех лабораториях застрявших тем, кото-

рые не так важны для решения основных задач. Усилия здесь должны быть изрядны.

Этим вопросам мы, вероятно, уделим специальное внимание дирекции <...>. Дело в том, что наука сейчас чрезвычайно дифференцирована, необычайно усложнилась и почти нет людей, даже в такой узкой области, как биология развития, с достаточной полнотой знаний. А что касается меня, не скрою, что человеку, выдвинутому на такой пост, оставаться на высоком научном уровне чрезвычайно трудно. Поэтому я обращаюсь с большой просьбой к коллективу, чтобы мы этим делом занимались вместе. <...>

Теперь в отношении нашей структуры. <...> Как и предполагалось, у нас будет 16 лабораторий, из которых 13 уже существуют в виде лабораторий или групп и три предполагается организовать в 1968—1969 гг. <...>

Наша материальная база. Это самое больное место во всем делении и во всем нашем ближайшем будущем. Основной принцип <...> заключался в том, чтобы нам разъехаться по разным домам и каждому институту иметь свой собственный дом. Но это, к сожалению, значит, что ИБР должен иметь своим жилищем настоящее здание, а Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова — здание на Ленинском проспекте, 33. Есть наши звенья, работающие сейчас там. Есть в небольшом количестве лаборатории того института, которые занимают помещения в этом здании. Кроме того, очень много общих производственных помещений: механическая мастерская, электронно-микроскопический кабинет, фотолaborатория, виварий и т.д. В общем, естественно, один институт имел все в одном комплексе, а два института должны их дублировать, обзавестись собственным хозяйством. <...> Таким образом, два родившихся младенца некоторое время должны будут сосать общую ма-

теринскую грудь Института морфологии животных, пока не станут на собственные ножки. И эта одна из наших трудных и важных задач.

Самое сложное и далеко не радужное — вопрос о вводе новых производственных площадей, возможности их получения <...> Нам предстоит отнюдь не райское житье. Но, как говорят, в раю скучно жить, делать совершенно нечего. Подтягивать пояса по сравнению с тем, что мы имеем сейчас, я надеюсь, нам не придется, но и расслабляться тоже не придется. В отношении площадей и всего, что от этого зависит, а от этого зависит, конечно, очень многое. При достаточной энергии все можно достать в Академии (оборудование и штатные единицы), но вот площади нужно строить — в них нуждаются все биологические учреждения. Эта тяжелая проблема первое время будет лимитировать нашу жизнь, а это означает, что количественный рост нашего состава мы должны сдерживать <...>.

Лично я считаю, что зачастую развитие научного учреждения и лабораторий не упирается в количественные показатели (в количественном отношении мы иногда и неплохо живем). Думаю, что лаборатории, достигшие 15—20 человек, уже находятся в состоянии, близком к желательному пределу, так как дальше начинаются внутренние трудности роста: бывает иногда и некоторое заболевание водянкой, и некоторая дифференцировка, неожиданная для руководителя, порождающая новые ветви. В общем, не такое уж это большое благо, к которому все стремятся, количественный рост.

В ситуации, в который мы будем жить, для нас проблемой номер один будет рост качественный <...>. Вы знаете, что бывают и небольшие по объему учреждения, которые носят мировые имена, всякий их может называть легко. Второе, что логически из этого вытекает <...>: мы должны представлять собой

коллектив, а не сумму лабораторий. В тех довольно тугих условиях, в которых мы будем жить, это положение особенно важно. Мы должны стать слаженным организмом, что возможно лишь при отсутствии эгоцентричности лабораторий.

Не секрет, что у нас существует тенденция самостоятельно, без участия дирекции, пробивать себе жизненные права (единицы и т.д.). И дирекция, как бывало прежде, оказывается уже перед необратимым фактом. Очень прошу всех считаться в данном случае с правами дирекции, я не призываю вас гасить свою инициативу, но настаиваю, чтобы она была контролируема и согласована с руководством, без партизанских действий. Я буду рассматривать такие поступки как нелояльные по отношению к руководству. Думаю, что это должно быть неизблемым правилом.

Говоря о коллективизме и слаженности, хотел бы еще подчеркнуть следующее: мы должны найти формы помощи коллектива дирекции в ее сложных обязанностях. Жизнь сама выдвигает такие формы — создаются всякие вспомогательные формы управления (некоторые регламентированные, некоторые нет), комиссии, такие, как, скажем, библиотечная, оценочная, виварная и т.д. Они берут под свой контроль определенные участки нашей многообразной институтской жизни и служат вспомогательными органами управляющего аппарата. <...> Думаю, что такую подсказанную жизнью практику нужно расширять. <...> Если мы действительно хотим создать образцовый институт и поднимем всех, то сможем добиться чрезвычайного многого.

В этом отношении я хотел бы коснуться общего стиля нашей работы. Общение с дирекцией, просьбы, посещение дирекции у нас носят характер чрезмерно домашний, и это, возможно, и хорошо, что существует такая простота в общении. Но при ус-

ловии загрузки членов дирекции, в частности моей, я должен сказать, что, еще не будучи директором, но обремененный множеством всяких обязанностей, я, входя в институт, сразу ловился за пуговицу, немедленно и по всей лестнице, вплоть до комнаты, непрерывно. Я и так чрезвычайно перегружен нашими проблемами, а масса беспорядочной дополнительной информации сбивает меня со всех устоев и графика.

Такое положение мы должны исправить. Во-первых, по отношению ко мне, не с точки зрения сострадания к моему несчастному положению, а с позиции вашей собственной выгоды. Вы должны оберегать меня от частностей и мелочей, оставив за мной те сферы, в которых я действительно могу принести наибольшую пользу. Если же я буду заниматься только частностями, я погибну, а вместе со мной и вы потерпите известное фиаско.

В дальнейшем станут известны часы приема, что оставлено за мной, что за заместителями директора, и мы постараемся в порядке «продавец и покупатель, будьте взаимно вежливы» строго соблюдать эти рамки. Вас просим о том же; если эти рамки окажутся узкими, мы их расширим, но я надеюсь, что они не будут слишком узки и что помимо часов приема и просьб (я очень этого хочу) мы найдем другие формы общения. <...>

Это то, что мне хотелось подчеркнуть и что далеко не исчерпывает всего, что нужно было бы вам сказать сейчас. <...> Нам доверен большой и важнейший участок научного фронта, таящий в себе очень большие потенциальные возможности. Несомненно, в этой области еще очень много неясного и не изученного. Может показаться, что в области индивидуального развития много еще тайн, но, вместе с тем, это и залог интересной научной исследовательской работы и большого потенциала, что здесь будут найдены действительные ценности. Сейчас на



В Институте биологии развития. 1967 г. «Борис Львович во многом создал не только научную атмосферу в институте, но и всегда участвовал в жизни института... Если в институте были какие-то трудные ситуации, можно было бы, хотя бы частично, перепоручить кому-либо разбираться с ними и, соответственно, снять с себя часть ответственности, но Борис Львович всегда все делал сам... Было много случаев, когда «клевали» наш институт: когда Александр Борисов ушел в семинарию, когда Шапиро попросил убежище в Италии... и много еще чего. Но Б.Л. всегда брал все удары на себя и всегда отстаивал интересы института ценой собственного здоровья» (И.В. Чудакова).

общем фоне биологических наук, где некоторые из них приобретают законченные, иногда окостеневающие формы, участок, на который поставлены мы с вами, представляется неразработанной золотоносной жилой. Думаю, что мы с вами дружной работой постараемся этот участок разработать и оправдать оказанное нам доверие.



С коконом тутового шелкопряда. «Коллеги называли его классиком, хотя в 1947 г. ему было всего 43 года. Право так называться давала его докторская диссертация, защищенная им в 35-летнем возрасте и изданная до войны в академическом издательстве в виде монографии "Искусственный партеногенез у тутового шелкопряда (экспериментальное исследование)"... Н.К.Кольцов называл работы Бориса Львовича первыми среди выдающихся научных достижений института» (О.Г.Строева).



На 2-м съезде ВОГИСа (1972 г.). «С честью вынес Борис Львович затяжную антинаучную травлю генетики и генетиков со стороны Лысенко и его многочисленных агентов при неизменном покровительстве партийно-государственного аппарата. После октябрьского Пленума ЦК КПСС 1964 г. группа московских и ленинградских генетиков приступила к организации общества генетиков и селекционеров для объединения уцелевших во время репрессий сил... Это удалось осуществить в 1966 г. Первым президентом нового общества был единодушно избран Борис Львович Астауров» (В.И.Иванов).



В гостях у Астаурова друзья (1972 г.). Слева направо: В.А.Струнников («Наши интересы в работе тесно переплетались. Только благодаря ему я смог достигнуть существенных успехов в продвижении по лестнице званий и занимаемых должностей... Меня согревало доверительное отношение ко мне Бориса Львовича. Почти за полвека знакомства между нами никогда не пробегала черная кошка. — Из личных воспоминаний В.А.Струнникова); Б.Л.Астауров; Д.К.Беляев («Их знакомство имело глубокие корни, уходило в годы процветания четвериковской лаборатории в ИЭБ... 10-летним мальчиком Митя наблюдал четвериковские чайные среды, сопровождавшиеся горячими спорами и чаем с печеньем <...> Бориса Львовича и Дмитрия Константиновича связывала верная дружба». — С.В.Аргутинская); Л.В.Крушинский («Их соединяли не только научные интересы, но и большая любовь к охоте». — Н.Л.Крушинская) и В.М.Полынин (Блантер), ответственный секретарь журнала «Природа» («по профессии филолог, но вместе с тем горячий противник лысенковизма — друг и почитатель Бориса Львовича». — Н.К.Скворцов).



На р.Вуокса. 1966 г. «Спасение от тяжелых впечатлений жизни Борис Львович искал в природе. Только она — великий целитель — может залечить душевные раны, вернуть покой» (Н.Л.Крушинская).

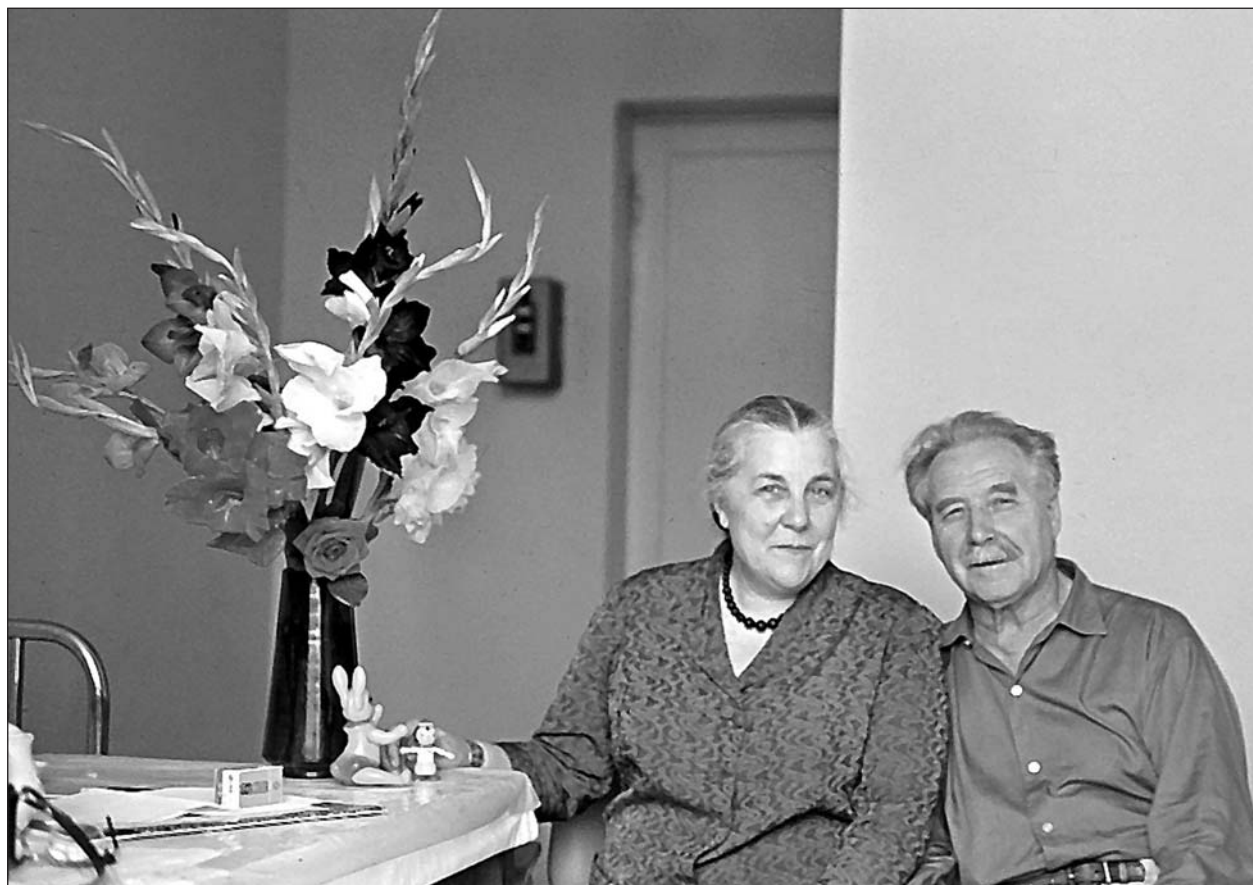


С фотоаппаратом. «Любимым его занятием была фотография. Часто можно было видеть его с фотоаппаратом... Он уходил в лес... У Бориса Львовича был фотоаппарат "Никон-автомат". По тем временам это была большая редкость, и он на все наши расспросы серьезно и подробно рассказывал об устройстве этой диковинной машины» (Н.Н.Озернюк).



«Львович, такой большой охотник...» (Е.Б.Астаурова). «Глубоко любя природу, чувствуя и наблюдая ее, Борис Львович в свободное время был страстным охотником, главным образом на водоплавающих птиц... На охоте бывал неутомим, проходя по болотам многие километры в поисках добычи...» (А.Г.Лапчинский).

За работой. «В большом кабинете... Борис Львович что-то записывал для своей небольшой книги "Цитогенетика тутового шелкопряда и ее экспериментальный контроль". Над каждым предложением он подолгу задумывался, многократно переделывая его, добиваясь логической связности и ясности... Борис Львович считал позором для автора редакторские правки и никогда их легко не принимал...» (В.В.Клименко).



С женой Наталией Сергеевной в больнице. 1974 г. «Помнится, как он... радовался возможности пообщаться с каждым своим посетителем... (...каждый был предупрежден Наталией Сергеевной, что говорить можно только о «вызывающем положительные эмоции»）」 (В.В.Клименко).

Мудрость и такт

Член-корреспондент РАН Л.И.Корочкин

Москва

*...в антимире с этикой негатива
он умел сочетать служение истине
с продвижением вверх по чиновным
ступеням.*

Р.Л.Берг

Борис Львович Астауров — одна из наиболее ярких личностей в отечественной биологии. Он оказал огромное влияние на развитие нашей генетики и эмбриологии и оставил неизгладимый след в науке как ученый и как гражданин.

После окончания биологического отделения Московского университета в 1927 г. Астаурову посчастливилось попасть в Институт экспериментальной биологии, возглавляемый Н.К.Кольцовым. Свою первую работу он начал в отделе генетики, руководимом тогда С.С.Четвериковым. Борис Львович сразу же стал одним из соавторов созданного Четвериковым нового направления в науке — современной популяционной генетики. При этом он прошел великолепную общебиологическую подготовку: слушал лекции таких титанов науки, как Н.К.Кольцов, А.Н.Северцов, М.М.Завадовский и работал в коллективе среди блестящих биологов — Д.П.Филатова, С.С.Четверикова и того же Н.К.Кольцова.

Самым первым объектом исследований Бориса Львовича оказалась плодовая мушка дрозофила, тогда основной объект генетических исследований. Он открыл новую мутацию *Drosophila melanogaster*, названную

tetraptera (четырёхкрылая). Она выражалась в появлении второй пары крыльев за счет трансформации жужжелиц (гальгеров). Это была одна из первых работ, описывавших гомеозисные мутации у дрозофилы, в последующем сыгравшие ключевую роль в раскрытии генетических и молекулярно-генетических механизмов индивидуального развития. Она определила на долгие годы, а точнее — на всю жизнь область интересов Бориса Львовича. В качестве таковой он избрал феногенетику, позднее «переименованную» в генетику развития.

В 1930 г. Астауров переехал в Ташкент*. В Среднеазиатском институте шелководства организовал группу генетики и гибридизации для изучения прикладной генетики и селекции тутового шелкопряда. Тогда и определился объект исследований Бориса Львовича — тутовый шелкопряд, на котором были выполнены основные его работы. За пять лет Астауров и возглавляемый им коллектив

* В Ташкенте Астауров оказался не случайно. Тогда генетический отдел Четверикова шаг за шагом разваливался. Кольцов, спасая от травли, отправляет в Ташкент для работы с тутовым шелкопрядом сначала Н.К.Беляева, а затем и Астаурова, который на ритуальном митинге отказался голосовать за расстрел Промпартии. (Философ. исслед. 1993. №4. С.382—398.)

добились перевода советского шелководства на получение промышленных межпородных гибридов.

В 1935 г. Борис Львович возвратился в Москву, в свой институт, и продолжил работу там, где начинал, в Институте экспериментальной биологии Наркомздрава. Его тогда переименовали в Институт цитологии, гистологии и эмбриологии, а в 1948 г. объединили с Институтом эволюционной морфологии им.А.Н.Северцова. В этот период Астауров, изучая партеногенез и андрогенез у шелкопряда, разработал метод получения особей желательного пола — самцов или самок. В 1965 г. он возглавил лабораторию экспериментальной эмбриологии им.Д.П.Филатова, а через два года стал директором Института биологии развития АН СССР, который возник по его инициативе и который он возглавлял до самой смерти. Сегодня Институт биологии развития РАН, созданный Астауровым, продолжает работать в рамках начертанных им программ и поставленных научных задач.

Организация такого института была чрезвычайно актуальной и своевременной. Началось возрождение генетики, ее освобождение от лысенковского бреда, нужна была база для подготовки квалифицированных



Открытие школы по генетике развития в Новосибирске. 1969 г. Справа налево — председатель Оргкомитета Л.И.Корочкин, Б.Л.Астауров, заместитель директора Института цитологии и генетики Р.И.Салганик и Н.В.Тимофеев-Ресовский.

специалистов в области генетики, которая была разгромлена. Научная молодежь, отравленная лысенковским ядом, не имела ни малейших представлений о генетике. И, собственно, после 1948 г. и до середины 60-х неоткуда их было получить. Литература по этому разделу науки варварски уничтожалась, в учебниках клеймили «реакционный» менделизм-морганнизм.

Институт, созданный Борисом Львовичем, стал одной из основных баз возрождения и развития генетики и подготовки знающих специалистов-генетиков и селекционеров. Институт был организован по кольцовскому принципу: собрать в единый комплекс все основные направления в биологии развития — генетику, физиологию, морфологию, биохимию и биофизику развития — с тем, чтобы комплексно, во взаимодействии

этих направлений, решать ключевые проблемы биологии развития. Директор привлек к работе в институте цвет нашей науки — В.В.Сахарова, Б.Н.Сидорова, Н.Н.Соколова, В.А.Струнникова, М.А.Арсеньеву, Э.А.Абелеву, В.П.Эфроимсона и др. Были созданы все условия для научной молодежи, быстро подрастала молодая смена — М.Б.Евгеньев, В.Г.Митрофанов, А.А.Борисов, В.А.Андреев, В.И.Миташов. Впервые по инициативе Бориса Львовича были организованы школы по биологии развития в Звенигороде, ставшие поистине кузницей кадров по генетике и экспериментальной эмбриологии.

Я очень хорошо помню 1-ю школу по генетике развития, которая проходила летом 1969 г. в Новосибирске. Борис Львович приехал на школу с огромным рюкзаком, переполненным до

краев. Я встречал его на вокзале и поинтересовался, чем заполнен рюкзак. «Книгами, журналами, — ответил он, — много нечитанного накопилось, да и статей пару написать собрался». Так он и жил на школе: с утра на лекции, а вечером — читать и писать. А ведь большинство приезжает на школы, чтобы хоть чуток передохнуть! Самым дисциплинированным и активным «школьником» был сам организатор. Несмотря на страшную жару, стоявшую тогда в новосибирском Академгородке, Борис Львович не пропустил ни одной лекции, которые тщательно конспектировал.

Большое внимание Астауров уделял селекционерам — им необходимо было объяснить ложность лысенковского подхода, именовавшегося советским творческим дарвинизмом и в действительности не имевше-

го никакого отношения ни к дарвинизму, ни к творчеству. В связи с этим проводилась титаническая работа по просвещению сотрудников селекционных учреждений, опытных станций, васхнилловских институтов. И ко всей этой работе Борис Львович относился очень серьезно, вникая во все ее детали.

Однако научно-организационная деятельность не была главным делом в жизни Бориса Львовича. Он был ученый до мозга костей, весь в науке, в мыслях о ней и ее проблемах. Недюжинный талант и трудолюбие — этими основными качествами выдающегося ученого Борис Львович был наделен сполна! Его работы в генетике и экспериментальной эмбриологии широко известны и давно вошли в золотой фонд достижений естествознания.

Астаурову принадлежит классическое доказательство ведущей роли ядра, заключенного в нем генетического материала, в определении специфических особенностей онтогенеза, в предопределении индивидуально выраженного фенотипа развивающегося организма. Для этого он использовал разную чувствительность ядра и цитоплазмы к действию радиации: ядро во много раз чувствительнее к облучению, чем цитоплазма. Астауров облучал неоплодотворенные яйца тутового шелкопряда высокой дозой рентгеновых лучей и затем оплодотворял их нормальной, необлученной спермой. В яйцо шелкопряда обычно проникает несколько спермиев. После этого яйца нагревались в течение 135 минут при 40°C. В результате действия тепла женское ядро часто остается на поверхности и не участвует в процессах развития. Такие яйца, лишённые женского ядерного аппарата, развиваются путем диплоидного андрогенеза, т.е. образуют ядро дробления посредством слияния ядер двух спермиев. Соответствующие особи всегда самцы, и их легко опознают при помощи генети-

ческой маркировки. Если, используя эту методику, соединить цитоплазму яиц *Bombyx mandarina* с ядром *Bombyx mori*, отличающегося по многим морфологическим, физиологическим признакам и поведению, то оказывается, что развивающийся организм целиком и полностью подобен отцовскому, т.е. соответствует информации, содержащейся в ядре. При соединении ядер *B.mori* с цитоплазмой *B.mandarina* получены сходные результаты. Отсюда следует, что формообразовательные процессы определяются ядром и не зависят от цитоплазмы.

Основываясь на данных о действии радиации на развитие, Астауров сформулировал принципиально важный тезис: тяжелые последствия облучения, приводящие к лучевой болезни, обусловлены главным образом первичными и необратимыми изменениями в генетических структурах клеточного ядра (разрывами хромосом, генными мутациями и т.д.). В цитоплазме же первичные повреждения обратимы в широком диапазоне доз облучения и потому имеют лишь вторичное биологическое значение.

Б.Л.Астауров — один из пионеров разработки методов экспериментальной полиплоидии у животных. С помощью термического партеногенеза он получил тетраплоидные, а затем и триплоидные клоны шелкопряда, нормально спаривающиеся, но неспособные к половому воспроизведению, хотя и дающие неограниченное количество партеногенетических клонов. Эти работы позволяли создавать обоеполюе и нормально размножающиеся формы шелкопряда путем использования межвидовой гибридизации и партеногенеза. Таким образом, Астауров получил тетраплоидный вид животного аналогично тому, как Г.Д.Карпеченко получил подобный же вид растений — капустно-редичный гибрид.

Следует также отметить, что Астауров осуществлял искус-

ственный андрогенез у шелкопряда разными методами — термическим и радиационным. И в том, и в другом случае генетический аппарат самки полностью выключался: процесс развития контролировался хромосомами самца, привнесенными сперматозоидами.

Исследуя роль генных взаимодействий в развитии, Борис Львович пришел к выводу об участии всех генов в формировании данного конкретного признака и об участии каждого гена в развитии всех признаков. Заключение гиперболизированное, но все же отражающее явление, происходящие в ходе онтогенеза. Каждый признак действительно определяется взаимодействием, хотя и не всех, но многих генов, и каждый ген действительно участвует в реализации, хотя и не всех, но многих признаков. Кстати, Астауров одним из первых оценил значимость в онтогенезе генов, которые сейчас именуются гомеозисными.

Живо интересовался он поведением человека и его психических особенностей. Он полагал, что эти качества формируются при взаимодействии генотип—среда и был убежден в необходимости исследований каждого из этих компонентов. Вот что он писал в предисловии к книге В.М.Полынина «Мама, папа и я» (1967): «Ясно отдавая себе отчет в том, что забота о наследственном здоровье рода неизбежно вторгнется в деликатную сферу самых интимных человеческих взаимоотношений, мы должны проявить мудрость и такт, но отнюдь не ханжество. Мы должны создать такую систему охраны наследственного здоровья, в которой соблюдение интересов общества не попирало бы права личности, забота о здоровье рода не противоречила бы, а шла навстречу заботе о здоровье индивидуума. На встающие здесь трудности не надо закрывать глаза, от них нельзя уходить, их надо преодолевать. Об этих проблемах надо

думать, о них писать, предпринимать практические шаги». Какие замечательные слова! Сказано прямо и честно, созвучно Н.К.Кольцову, Ю.А.Филипченко, М.Е.Лобашеву, в традициях российской классической генетики! А ведь не секрет, что иные, как отечественные, так и западные биологи, стыдливо и лицемерно отворачиваются от этих проблем, подобно страусу, прячущему голову в песок. А то и еще хуже — набрасываются на тех, кто занимается этими проблемами, с чудовищными и необоснованными обвинениями в расизме, идеализме и прочих измышленных марксистами-ленинцами грехах.

Вся жизнь Бориса Львовича была подвигом, и не только научным. Как писал великий российский мыслитель А.С.Хомяков:

Подвиг есть и в сражении,
Подвиг есть и в борьбе,
Подвиг есть и в терпенье,
Любви и мольбе.

Борис Львович следовал голосу совести не только в вопросах науки, но и в общественной жизни, в самых сложных ситуациях; в наиболее тяжелое и тревожное время он проявлял гражданское мужество и никогда не отступал от своих принципов. Несмотря на сильное давление сверху, он не подписал ни одного письма против академика А.Д.Сахарова; добился освобождения биолога Ж.А.Медведева, упрямого в психолечебницу за диссидентскую деятельность; защитил и не позволил уволить из института выдающегося эмбриолога Александра Нейфаха, открыто и мужественно осудившего советскую интервенцию в Чехословакию.

Я вспоминаю, как тяжело Борис Львович вместе со своим другом Дмитрием Константиновичем Беляевым переживал эту



С зонтиком. «На школе был такой эпизод: Астаурову предоставили персональную машину, но он отказался от нее, поскольку не любил никаких привилегий. Однако тогда в Новосибирске стояла невыносимая жара, почти 40°C, и когда мы нашли для Бориса Львовича зонтик, он страшно обрадовался» (Л.И.Корочкин).

интервенцию. Тогда в Токио проходил Международный генетический конгресс, и советская делегация, возглавляемая президентом Всесоюзного Общества генетиков и селекционеров Астауровым, была достаточно представительной.

Для нас, тогда еще молодых, Борис Львович всегда был примером служения науке и обществу. Мы старались быть в жизни такими же принципиальными

и преданными науке, достойно нести звание российского интеллигента.

В наши смутные времена, когда ученые нищенствуют, а наука все еще не востребована и ее значимость для развития общества признается только на словах, сохранение высоких традиций российской мысли приобретает особое значение как гарантия будущего возрождения страны. ■

Новости науки

Космические исследования

Что происходит в миллиардах световых лет от нас?

Самые удаленные от Солнечной системы области Вселенной остаются малоизученными не только из-за немислимых расстояний, но еще и потому, что спрятаны за гигантскими облаками космической пыли, закрывающими перспективу для наблюдателей на Земле. Ныне этот «занавес» начинает понемногу раздвигаться с помощью американского аппарата «SIRTF» («Space Infrared Telescope Facility» — «Космическое инфракрасное телескопное устройство»). Этот спутник, названный в честь американского астрофизика Лаймана Спитцера, был запущен с мыса Канаверал (Флорида) в августе 2003 г. Им завершается эпопея «Great Observatory Program», в которой уже участвовали знаменитый телескоп «Хаббл», обсерватория космических лучей «Комптон» и рентгеновская обсерватория «Чандра». С 1990 г. «Хаббл» — один из крупнейших и сложнейших аппаратов своего времени — провел ценные наблюдения в ультрафиолетовой, видимой и близкой инфракрасной полосах излучения. «Комптон», запущенный годом позже, собрал информацию о гамма-лучах и о наиболее мощных физических процессах во Вселенной — рождении сверхновых звезд, их эволюции и взрывной гибели, а также о роли черных дыр в возникновении грандиозных потоков рентгеновского излучения. Наконец, «Чандра» — целиком рентгеновский инструмент — работает в космосе с 1999 г.; он способен регистрировать поведение вещества вплоть

до самого его падения на черную дыру, а также рентгеновское излучение, идущее из космического облака таких размеров, что свет преодолевает его толщу не менее чем за 5 млн лет.

К началу 2004 г. наблюдательные приборы зонда «Спитцер» были точно сфокусированы и охлаждены до температуры около 5 К (–268°C); все бортовое оборудование работает нормально, и это придает участникам эксперимента уверенность, что в течение ближайших 2,5–4 лет они получат уникальные сведения о скрытых пылевыми облаками или слишком удаленных и весьма холодных объектах, в том числе о красных карликах и красных гигантах. Возможно и открытие сверхмассивных черных дыр, вероятно, скрытых в центре нашей и других галактик.

Существуют объекты, именуемые сверхъяркими галактиками, которые оптимально наблюдаются в инфракрасной полосе частот. Многие из них образуют пары сближающихся, сталкивающихся и сливающихся галактик — приборы «Спитцера» помогут понять природу этих событий. Впервые появляется возможность построить надежную карту распределения звезд в Галактике.

Важнейших открытий можно ожидать от изучения фонового инфракрасного излучения, возникшего в процессе образования Вселенной. Оно, как полагают, происходит от множества невидимых нам галактик, слишком слабых или слишком близко друг к другу расположенных, что препятствует их наблюдению с Земли. Как известно, органические молекулы тоже излучают в инфракрасном диапазоне, и приборы «Спитцера» способны это излучение обнаруживать.

Работе инфракрасного телескопа могло бы помешать его собственное тепло. Оно устраняется сначала системой, использующей низкую температуру космического пространства, а затем — криогенным бортовым устройством, содержащим жидкий гелий. Этот сравнительно недорогой способ применяется впервые.

Слежение за аппаратом и отдачу команд ведет принадлежащая НАСА Сеть связи с глубоким космосом. Она принимает научную информацию каждые 12 ч. Научный руководитель — М.Вернер (M.Werner), за физические и астрономические наблюдения отвечает Э.Кинни (A.Kinney), оба — научные сотрудники НАСА. Расходы на всю операцию составили 1,5 млрд долл.

Spaceflight. 2003. V.45. №12. P.498 (Великобритания).

Астрофизика

Что случилось с Солнцем?

К концу 2003 г. максимум солнечной активности, пришедшийся на 2001 г., был уже далеко позади, и поэтому астрономы считали совершенно естественным, что 17 октября 2003 г. солнечный лик выглядел почти совсем чистым: на нем были заметны лишь несколько мелких пятен. Но следующие сутки наверняка войдут в историю многолетних наблюдений за Солнцем: внезапно область солнечного пятна №10 484 стала на глазах бурно разрастаться, и вскоре пятна покрыли более полуторамиллионной доли видимой поверхности Солнца (что вдесятеро превышает всю поверхность Земли!). После очередного оборота Солнца вокруг своей оси область пятна №10 486, представ-

шая глазам земного наблюдателя, была буквально испещрена гигантскими «родинками». Причем этот факт некоторым ученым удалось обнаружить еще тогда, когда пятнистая область находилась на обратной стороне Солнца. Это стало возможным благодаря новому методу — гелиосейсмической голографии, позволяющей строить карты магнитной активности даже на обратной стороне звезды.

К 31 октября 2003 г. суммарная площадь пятен уже в 15 раз превышала поверхность нашей планеты. Событие было провозглашено «рекордсменом» за текущий цикл солнечной активности. Но и этого природе показалось мало: как бы из ничего вдруг начала рождаться еще одна область пятен. Процесс шел очень быстро, и всего за одни сутки там образовались три гигантских группы пятен, каждая крупнее Юпитера. Их можно было наблюдать с Земли, прикрыв глаза плотным светофильтром, а в Калифорнии, охваченной в то время мощным лесным пожаром, дымовая завеса позволяла видеть это грандиозное событие без каких-либо ухищрений.

Специалисты же, нацелив на Солнце множество астрономических инструментов, наблюдали редкостную вспышку рентгеновского излучения, исходящего из области скопления молодых пятен и перепутанных магнитных полей. В трех различных областях Солнца удалось зарегистрировать в сумме 10 вспышек самого мощного класса.

Вскоре возбужденные области стали одна за другой уходить на обратную сторону Солнца и, казалось, все начало успокаиваться. Но внезапно возникло новое сверхизвержение масс плазмы из солнечной короны, причем такое сильное, что от рентгеновских лучей зашкалило приборы на американском спутнике «GOES». Вспышек такой мощности еще никто не наблюдал с середины 1970-х годов, когда рентгеновские лучи вообще начали фиксировать спутниковыми приборами. Все три колоссальных пятна, по-

родивших эти грандиозные вспышки, появились одно за другим в течение трех недель, тогда как обычно такое событие может в сумме наблюдаться разве что за целый год. Выброшенные из короны Солнца частицы в двух случаях устремились к Земле со скоростью свыше 8 млн км/ч и преодолели это расстояние менее чем за 20 ч.

29 октября 2003 г. на Земле началась геомагнитная буря наивысшей категории. Она продолжалась всего около 3 ч и завершилась так скоро, вероятно, потому, что магнитная компонента выброса из солнечной короны была направлена не прямо в нашу сторону. Эта случайность и спасла землян от геомагнитной бури еще большей интенсивности и продолжительности. Так что же произошло с Солнцем? При анализе архивных данных, относящихся к минувшим циклам, можно заметить, что наиболее крупные вспышки обычно возникают уже по завершении солнечного максимума, когда кривая активности идет вниз. Такое случилось уже дважды за последние три-четыре десятилетия. Так же ведут себя и геомагнитные бури на Земле: самые ее жестокие штормы чаще всего приходятся на пару лет до или после солнечного максимума.

Большинство астрофизиков в произошедших событиях не видят оснований для беспокойства. Просто мы накопили еще слишком мало свидетельств о бурном нраве нашей ближайшей звезды.

Spaceflight. 2003. V.46. №2. P.50 (Великобритания).

Астрофизика. Техника

Антиматерия: обнаружить и изучить

По современному физическим и астрофизическим представлениям, не менее половины всего существующего во Вселенной состоит из антиматерии. Однако обнаружить ее до сих пор не удалось. Ни один из тщательно разработанных экспериментов, в том числе на высотных баллонах, не привел к ее от-

крытию в потоке космических лучей, поступающих на Землю.

Проект AMS (Alfa Magnetic Spectrometer), разработанный физиком С.Тингом (S.Ting; Массачусетский технологический институт в Кембридже), предусматривает запуск на одном из американских шаттлов измерительных приборов для размещения их на космической станции. Организаторы проекта надеются, что магнитный спектрометр оригинальной конструкции сумеет улавливать частицы высоких энергий, регистрировать их скорость и отклонение в магнитном поле, что позволит обнаружить ядра антиматерии. В основе прибора — сверхпроводящий магнит с высокочувствительным детектором и связанная с ним регистрирующая аппаратура. В эксперименте, стоимость которого около 840 млн долл., участвуют специалисты из ЦЕРНа (Женева, Швейцария), КНР, ряд американских аэрокосмических фирм, а всего — представители 16 государств.

Несмотря на известную «продвинутость» проекта, появилась неопределенность в его осуществлении в установленные сроки: президент США Дж.Буш распорядился, чтобы НАСА сосредоточило усилия на тех экспериментах, которые напрямую связаны с пребыванием в космосе человека. Это отодвигает фундаментальные исследования, к которым относится и поиск экзотических частиц и темной материи, на второй план. Научный коллектив НАСА ищет пути, связывающие проект AMS с проблемами жизнедеятельности астронавтов, в частности с магнитной защитой от опасной для астронавтов составляющей космических лучей.

Разрабатывается также запасной вариант, по которому комплект приборов будет запущен непосредственно ракетой-носителем, без использования шаттла, и перейдет затем в свободный полет. Однако это потребует серьезных изменений в энергопитании приборов и системах их контроля. Science. 2004. V.303. №5664. P.1590 (США).

Астрономия**Облако Оорта стало видимым**

Еще в начале XX в. голландский астроном Ян Хендрик Оорт (J.H.Oort) предсказал существование скопления мелких и средних по размерам небесных тел непосредственно за внешними пределами Солнечной системы, которое было названо облаком Оорта. Первым же Оорт определил это скопление в качестве источника большинства (если не всех) комет, которые, в отличие от самого облака, становятся наблюдаемыми, влетая в более близкие к нам области Солнечной системы. Согласно вычислениям Оорта, это облако простирается на расстояние около 150 тыс. а.е. от Солнца (напомним, 1 а.е. равна расстоянию между Землей и Солнцем, 150 млн км). Незначительные размеры входящих в состав облака тел делали их на таком расстоянии неразличимыми для земного наблюдателя.

Но вот в ноябре 2003 г. американские астрономы во главе с М.Брауном (M.Brown; Калифорнийский технологический институт в Пасадене) объявили о том, что им удалось наблюдать отдельное небесное тело в составе облака Оорта. Объекту предложили дать название Седна — по имени иннуитской (эскимосской) богини моря. Это покрытое льдом тело находится на таком удалении от Солнца, которое более чем вдвое превышает расстояние между светилом и планетой Плутон. Диаметр Седны, вероятно, составляет около трех четвертей поперечника Плутона.

Просмотр снимков неба, сделанных в 2001 г., показали, что Седну астрономы, не ведая того, «засекали» еще тогда: на фотографиях она запечатлена как чрезвычайно медленно перемещающаяся светлая точка. Видимо, ее орбита очень вытянута и эксцентрична: один полный оборот Седна совершает за 10 500 лет. За это время она уходит от Солнца на расстояние в 900 а.е.

Благодаря открытию Седны стало ясно, что в облаке Оорта содержится значительно большая масса вещества, чем полагали до сих пор, а само облако со стороны своей внутренней области располагается ближе к Солнцу, чем считали прежде.

Science. 2004. V.303. №5665. P.1743 (США).

Планетология**У Марса ядро жидкое?**

Землю и Марс часто называют близнецами. Действительно, многое в их строении имеет существенное сходство. В начале эволюции оба небесных тела были раскалены в такой степени, что, вероятно, достигли расплавленного состояния. У Земли и по сей день ядро, несомненно, жидкое, а поскольку Марс уступает в размерах, то остывание ядра шло у него быстрее и отвердеть оно могло раньше.

Утверждение, будто у Марса сегодня не может быть жидкого ядра, поставили под сомнение около 10 лет назад американские космофизики Г.Шуберт и Т.Спон (G.Schubert, T.Spohn), указавшие, что разница в химическом составе планет не позволяет уверенно проводить простую экстраполяцию, опираясь лишь на то, что мы знаем о строении Земли. И вот теперь Ч.Ф.Йодер, А.Коноплив, Д.Н.Юань (Ch.F.Yoder, A.Konopliv, D.N.Yan) и другие сотрудники Лаборатории реактивного движения в Пасадене (США) нашли практические свидетельства того, что железное ядро Марса еще жидкое.

Сведения о глубинном строении Красной планеты обычно черпают из нескольких источников. Один из них — метеориты марсианского происхождения; другой — наблюдаемое отсутствие у Марса глобального магнитного поля; о многом свидетельствуют также общая масса планеты и ее момент инерции.

Момент инерции Марса указывает на существование достаточно плотного ядра и позволяет определять его размер. Однако неточ-

ность наших сведений о плотности и размерах ядра все еще велика — эти параметры зависят от температурного профиля и количества легких элементов в его составе, о чем мы можем пока судить лишь приблизительно. Поэтому для создания модели внутреннего строения Марса специалисты ищут иные подходы.

Притяжение Солнца и других тел Солнечной системы вызывает на Марсе, как и на Земле, явления глобального масштаба. В первую очередь — это приливы и прецессия с нутацией, т.е. перемещение оси вращения небесного тела в пространстве. С приливами и отливами связаны смещения поверхностной оболочки и перераспределения масс внутри планеты. Периоды изменений связаны с движением Марса по орбите и, в меньшей степени, — с влиянием марсианских «лун» Фобоса и Деймоса.

Для изучения всех таких явлений необходимы длительные наблюдения — по меньшей мере годичные, а лучше — многолетние. Но данные о гравитации на поверхности Марса, о приливах и нутации (покачивании оси вращения планеты) могут быть получены почти исключительно путем создания сети геофизических приборов на самой планете. Правда, некоторую информацию можно собрать с помощью искусственных спутников Марса, например орбитальной обсерватории «Mars Global Surveyor» («MGS»), на которую влияют силы притяжения, возникающие при перераспределении масс в связи с приливами. Таким образом, сведения о реакции планеты на приливное воздействие могут быть выяснены путем точного определения тех изменений, которые наблюдаются в орбите аппарата «MGS», а поскольку они зависят от внутреннего строения планеты, появляется возможность хотя бы приблизительно судить и о свойствах ядра.

Йодер с сотрудниками нашли новый метод косвенного определения гравитационного эффекта, вызванного приливами. Используя достаточно точные данные, собранные за три года спутниковых

измерений, участники работы пришли к выводу: наличие полностью твердого ядра для Марса невозможно; по крайней мере часть его должна быть жидкой.

Science. 2003. V.300. №5617. P.260, 299 (США).

Организация науки

Конкурс русских инноваций

В июне 2004 г. в Москве состоялось награждение победителей 3-го Конкурса русских инноваций. Этот проект открыт для всех желающих, он организован в 2002 г. по инициативе журнала «Эксперт» при поддержке Министерства образования и науки РФ, Министерства атомной энергии РФ, акционерной финансовой компании «Система» и компании «Intel». За три года рассмотрено более 1300 заявок; нынешний конкурс собрал 413 (несколько больше прошлогоднего). По замечанию руководителя проекта Д.Медовникова, такая тенденция опровергает прогноз скептиков, утверждающих, что «инновационные сливки Родины» уже сняты и число конкурсантов будет неизбежно убывать.

География конкурса 2004 г. осталась прежней: лидерство Москвы, Московской обл. и Санкт-Петербурга, далее — Новосибирск, Калуга (с участием Обнинска), Уфа, Челябинск (благодаря атомграду Снежинску) и Екатеринбург.

Из представленных на конкурс работ определены 12 победителей — по восьми номинациям и четырем специальным премиям.

Гран-при удостоена группа специалистов из стран Евросоюза и СНГ, возглавляемая физиком М.Нунупаровым, основателем компании «Qmodule», — за проект «Электроника без батарей». Представленные приборы (беспроводные выключатели, дверные замки и другие устройства) содержат микросхемы и датчики, питающиеся от мускульной энергии человека. Нунупаров с коллегами сконструировали пьезоэлектрический конвертор, подобный используемому

в газовых зажигалках, и смонтировали его под клавишу переключателя. При нажатии клавиши генерируется очень слабый ток, достаточный, однако, для питания современного чипа.

Авторы проекта считают, что на базе такого пьезоконвертора можно создать компьютерную мышь, дистанционные датчики давления и вибраций для использования в строительстве и энергетике, а также любые другие автономные устройства. Важно, что такие экологически чистые пьезоконверторы могут существенно сократить применение химических источников тока (батареек) — одного из наиболее опасных загрязнителей окружающей среды.

В номинации «**Лучший перспективный проект**» отмечены сотрудники Гематологического научного центра РАМН за разработку биочипов на основе иммуноглобулинов.

Создание и использование в медицине белковых биочипов — огромное достижение биотехнологии последних лет. На крохотной пластиковой пластинке (5×10 мм²), вмещающей несколько тысяч разных микротестов, можно одновременно определять патогены, аллергены, онкогены, лекарства, наркотики и даже генетические дефекты. Такая технология заменяет целые иммунологические лаборатории и увеличивает производительность многих диагностических методов в десятки тысяч раз.

Специалисты Гематологического центра вместе с сотрудниками Института теоретической и экспериментальной биофизики создают комплекс, включающий оборудование для изготовления биочипов, устройство для контроля качества, прибор для считывания информации и программное обеспечение. Они предложили новый способ нанесения белкового раствора на матрицу: вместо обычного автоматического микроманипулятора используется электронная пистолетная установка. Такой метод позволяет одновременно изготавливать тысячи микрочипов, экономить белковый раствор и время

(1 мкл раствора напыляется на 100 тыс. точек за 30 с). Разработчики предлагают с помощью таких биочипов выявлять урогенитальные инфекции (сегодня только в Москве потребность в них составляет не менее 1 млн штук в год). В дальнейшем биочипы найдут самое широкое применение при диагностике и контроле лечения многих заболеваний: они позволят определять содержание вредных веществ в окружающей среде, а в криминалистике — обнаруживать следы наркотиков, ядов, взрывчатых веществ, проводить идентификацию личности, а также могут применяться в биологических и медико-биологических исследованиях.

В номинации «**Лучшая инновация для Подмосквы**» премию получил руководимый Э.Н.Соболев коллектив научно-производственной фирмы «Термикс-Наука» (г.Троицк) — за метод лазерной коррекции хрящей носа. Эта принципиально новая процедура, бескровная и безболезненная, уже апробирована в лор-клинике Московской академии им.И.М.Сеченова на 250 пациентах. Согласно статистике, четверть населения планеты имеет искривления хрящей носа, причем у 10—15% этот дефект вызывает затрудненность дыхания. В России почти 1 млн человек нуждается в подобной операции, а их сейчас делается около 80 тыс. в год.

Новая технология основана на действии локального кратковременного лазерного нагрева, вызывающего размягчение хрящевой ткани. Этот эффект был открыт Соболев, возглавляющим лабораторию в Институте проблем лазерных и информационных технологий РАН. Размягченную ткань можно лепить, как пластилин, и с помощью специальной аппаратуры придавать ей желаемую форму. Остывая, хрящевая ткань обретает исходную упругость. Комплекс включает не только инфракрасный волоконный лазер и инструмент для коррекции формы носовой перегородки, но и контрольно-диагностическую систему с обратной связью.

Специалисты считают, что новый метод можно использовать для лечения некоторых заболеваний позвоночника; например, в порядке клинических испытаний сделано уже 1115 операций по коррекции межпозвоночных дисков. Метод можно использовать также в косметологии и пластической хирургии, лечить артрита и артрозы.

Пресс-релиз «Конкурс русских инноваций-2004»

Физика

В нанотрубках имоголита можно хранить природный газ

Японские ученые предложили использовать для хранения природного газа искусственный имоголит — аналог водного алюмосиликатного нанотрубчатого минерала вулканического происхождения.

Исследователи получали нанотрубки имоголита методом гидротермального синтеза. Адсорбцию метана синтезированным и природным (контрольным) образцами измеряли взвешиванием на электронных весах в стальной ячейке при температуре 21°C и давлении до 8 МПа. Изотерму сорбции водяного пара определяли с помощью прибора «BELSORP-18» при 25°C.

Искусственный образец состоял из закрученных пучков, содержащих множество индивидуальных нанотрубок, его удельная поверхность равнялась 222 м²/г (у контрольного этот показатель 297 м²/г); он имел значительную фракцию пор радиусом 0.35 нм (средний радиус пор природного образца ~0.55 нм). Сорбционная емкость по отношению к метану у синтезированного имоголита оказалась равной 50.6 мг/мл при 4.05 Мпа (у природного — 42.5 мг/мл при 4.09 Мпа), что значительно выше значения этой величины при хранении природного газа под давлением (28 мг/мл при 4.0 МПа). Количество адсорбированной воды увеличивалось пропорционально давлению, достигая

максимума ~80 масс.% у синтетического имоголита и ~60 масс.% у природного. Для повышения сорбционной емкости по воде и метану необходимо регулировать микро/мезопористую структуру поверхности и ее гидрофильные/гидрофобные свойства.

В настоящее время ученые изучают возможность модификации поверхности имоголита с целью создания многоцелевого адсорбента. Кроме того, ожидается, что использование алюмосиликатных нанотрубок, обладающих высокой сорбционной емкостью по метану, позволит существенно улучшить существующие методы хранения природного газа.

Journal of Materials Science. 2004. V.39. P.1799; http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/4_05/index.htm

Электроника

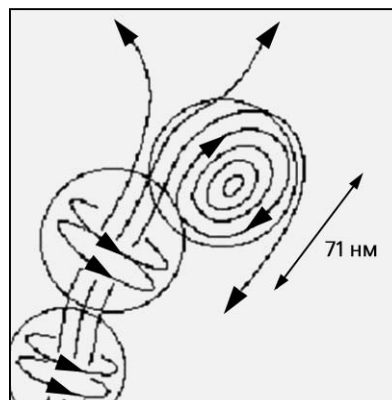
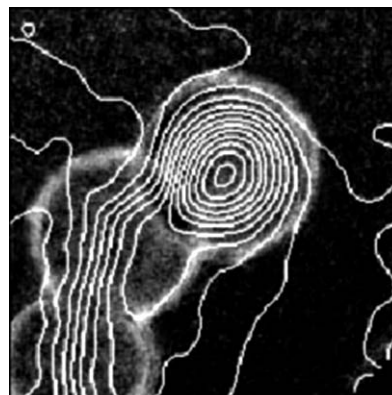
Электронная голография кристаллов

В последние десятилетия мощным инструментом изучения структуры твердых тел стала просвечивающая электронная микроскопия. Сочетая этот метод с цифровой регистрацией и компьютерной обработкой получаемого изображения, исследователи обрели возможность «фотографировать» смещения атомов на расстоянии, значительно меньшие постоянной решетки (например, визуализировать поле упругих деформаций вокруг элементарной дислокации в кристалле кремния с разрешением 0.003 нм), а также получать «карты» распределения химических элементов в образце¹.

Однако один из самых интересных и активно развивающихся методов электронной микроскопии — электронная голография². Она основана на том, что магнитное и электрическое поля внутри

¹ Hÿtcb M.J., Snoeck E., Kilaas R. // Ultramicroscopy. 1998. V.74. P.131—146; Bayle-Guillemaud P., Barbier A., Mocuta C. // Ibidem. 2001. V.88. P.99—110.

² McCartney M.R., Dumin-Borkowski R.E., Smith D.J. Electron holography of magnetic nanostructures // Magnetic Microscopies of Nanostructures / Eds H.Hopster, H.P.Oepen. Springer-Verlag, 2004.



Распределение магнитного поля в цепочке наночастиц FeNi, полученное методом электронной голографии (вверху). На фоне частиц видны фазовые контуры, соответствующие линиям магнитного поля, а внутри конечной частицы — вихрь. Схематическая диаграмма (внизу) представляет трехмерную структуру цепочки.

образца влияют на фазу электронного пучка. Если на регистрирующую поверхность одновременно с пучком, прошедшим сквозь образец, направить когерентный ему опорный, полученная интерференционная картина (как и в оптической голографии) фиксирует информацию о фазовом сдвиге, приобретенном пучком при прохождении образца. Дальнейшая компьютерная обработка полученного изображения (фурье-преобразование, выделение возникшей в результате фазового сдвига боковой полосы, ее центрирование и обратное фурье-преобразование) позволяет создать «фазовую фотографию» образца.

С ее помощью можно получить картину распределения магнитного поля, и такие исследования уже проведены для анизотропных магнитных пленок и различных наноструктур (включая исследование цикла перемагничивания элементов магнетита, образованных в результате жизнедеятельности некоторых бактерий и т.д. Картина распределения электрических полей получена для полупроводниковых гетероструктур.

Разрешение электронной голографии достигает 1 нм, или примерно 10 постоянных решетки. К сожалению, из-за сложности обработки изображений применить этот метод для изучения процессов в динамике пока невозможно. Однако и электронно-микроскопическая аппаратура, и возможности вычислительной техники быстро развиваются, так что в ближайшем будущем мы несомненно станем свидетелями новых успехов в этой области.

http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/4_02/index.htm

Биохимия

Красный пот гиппопотамов

Кожа гиппопотамов (*Hippopotamus amphibius*) покрыта красновато-коричневым налетом. Что это за вещество, откуда оно берется и для чего нужно гиппопотамам?

На эти вопросы ответили японские биохимики К.Хасимото и его коллеги по Фармацевтическому университету в Киото. Оказалось, что налет образуется в результате полимеризации и окисления двух различных небензольных ароматических пигментов, содержащихся в поте животных.

Строго говоря, похожая на кровь жидкость, выступающая на коже гиппопотамов, — это не пот, так как она выделяется не внутренними, а подкожными железами. Вначале она бесцветна, но на воздухе за несколько минут окрашивается в кроваво-красный цвет, а затем из нее образуется нерастворимый коричневый налет.

Ученые выделили из этой жидкости два разных пигмента, получивших название гиппопотамовой и норгиппопотамовой кислот. Они обладают сходной структурой, являясь, по-видимому, метаболитами аминокислот фенилаланина и тирозина; в очищенном виде эти пигменты очень нестойки, но, высыхая на поверхности кожи животных в присутствии слизи, сохраняют свой цвет несколько часов, а затем полимеризуются в твердое коричневое вещество.

Спектры поглощения этих пигментов в УФ- и оптическом диапазонах указывают, что они могут защищать гиппопотамов от солнечных ожогов. Кроме того, в эксперименте красный пигмент подавлял рост патогенных бактерий *Pseudomonas aeruginosa* A3 и *Klebsiella pneumoniae*, причем при более низких концентрациях, чем обнаружены на коже гиппопотамов.

Nature. 2004. V.429. №6990. P.363 (Великобритания).

Орнитология

Зачем казуару гребень?

Этот вопрос уже долгие годы занимает орнитологов. Казуар — крупная нелетающая птица из семейства Casuariidae — обитает в тропических лесах Новой Гвинеи и северной части Австралии. Его голова украшена мощным гребнем-«шлемом». Время от времени казуар оглашает окрестности громким раскатистым ревом. Биолог Дж.Джонс (J. Jones; Университет штата Калифорния в Сан-Диего, США) и его коллеги, проанализировав магнитофонную запись рева казуара, обнаружили, что частично он попадает в область ультразвука, доходя до частот ≈ 23 кГц (слышимая человеческим ухом область заканчивается на 20 кГц). Редкое среди сухопутных животных умение издавать ультразвук полезно для казуара — акустические волны этого диапазона хорошо распространяются в густых зарослях. Ученые пришли к выводу, что гребень служит приемником звука. На это, по их мнению, указывает строение

«шлема»: внешний его слой роговой, а внутри находится полужидкая масса, которая связана с внутренним ухом птицы, куда передаются звуковые вибрации.

Исследованиями биологов заинтересовались представители других дисциплин, в том числе палеонтологи. Ранее они не могли понять назначение гребней на головах некоторых «хохлатых» динозавров (например, овирапторов), теперь же полагают, что эти «украшения» вполне могли служить приемниками акустических сигналов.

Science. 2003. V.302. №5647. P.981 (США).

Организация науки. Геотектоника

Международные работы в Антарктиде

Международная комплексная экспедиция, в состав которой входили геодезисты, геофизики и геологи из Австралии, Германии и России, успешно работала в Восточной Антарктиде¹ южнополярным летом 2003—2004 гг. Основным объектом изучения был гребень Ламберта (назван в честь немецкого астронома Иоганна Генриха Ламберта, жившего в XVIII в.). Этот опустившийся участок земной коры, или ров, отделенный от смежных глыб тектоническими разрывами, интересен специалистам (как и соседний с ним ледник Ламберта) тем, что хранит свидетельства движения литосферных плит, на которых расположены Австралия и Антарктида.

На австралийскую южнополярную станцию Дейвис экспедиция прибыла на борту научно-исследовательского судна «Auriga Australis», а затем санно-тракторным поездом была доставлена к подножию горы Кресуэлл, преодолев по ледникам 680 км. Основав полевой лагерь и семь выносных станций на окрестных возвышенностях, ученые приступили к гравиметрической и геодезической съемкам, используя два легких

¹ См. также: Талалай П.Г. Очередной шаг к исследованию древнего льда Антарктиды // Природа. 2004. №8. С.84—85.

вертолета. Работы велись на высокогорьях (1100—2000 м над ур.м.) при минусовых температурах (ночью до -20°C) и сильном ветре. Полярникам удалось установить сеть геодезических станций с высокоточными географическими координатами, что позволяет надежно определять тектоническую активность и движение земной коры в районе грабена Ламберта.

Исследования координировались с данными американского спутника «ICESAT». До сих пор большинство спутников, двигаясь над Южным полушарием, достигали лишь 70° ю.ш.; над главными ледниковыми шапками Антарктиды они обычно не пролетали. «ICESAT», выведенный на орбиту в 2002 г., проходит непосредственно над Южным географическим полюсом, и его высотомерная система хорошо калибруется наземными пунктами в различных точках Ледового континента. В работах активную роль играли сотрудники Дрезденского университета (ФРГ).

Еще в 60—70-х годах австралийские полярники соорудили наземную геодезическую сеть и на ее основе построили карту района хребта Принс-Чарльз, в южной части которого и находится грабен Ламберта. Но ее точность местами не превышала и 30 м, что не позволяло определять истинное тектоническое движение земной коры. Нынешняя экспедиция, основав 21 контрольную геодезическую точку в южной части этих гор, создала условия для измерений с точностью около 2 мм!

Геологи экспедиции использовали возможность взять образцы пород со сравнительно редких здесь вершин, выступающих над мощным ледниковым покровом; они способны многое рассказать о нижележащих геологических структурах, их эволюции, геохимии, геохронологии и геоморфологии. Анализ образцов проводится в лабораториях Германии и Австралии.

В свое время французские ученые создали сеть DORIS (Doppler Orbitography and Ranging System), позволяющую точно определять

географические координаты местности. Два пункта этой сети, расположенные на Австралийском континенте (на Маунт-Стромло и у пос.Ярагади) также использовались для измерения скорости и направления движения ледника Ламберта. С четырех французских спутников информация, собранная над Антарктидой, «сбрасывалась» во время прохождения над Европой в распоряжение центра данных в г.Тулузе. Она содержала сведения о том, насколько продвинулся ледник всего за 1 ч, прошедший между пролетами над ним двух спутников. Установлено, что в труднодоступном районе ледника Ламберта, находящемся в 600 км от побережья, скорость составляет около 1 м/сут, а по мере приближения к морю значительно увеличивается. В 2004 г. космогеодезические и геодезические работы ведутся на леднике Сёрсдаля, вблизи австралийской полярной станции Дейвис.

Приданный экспедиции самолет «Twin Otter», ежесуточно совершавший один-два шестичасовых вылета, был оснащен приборами для измерения аномалий силы тяжести, геомагнитных и гляциологических наблюдений. В результате построены геофизические карты с разрешением около 10 км — для Антарктиды это высокая точность. Собраны сведения о мощности ледового покрова и структуре подводного рельефа под 2—3-километровым слоем льда.

AusGeoNews. 2003. №71. P.12 (Австралия).

Климатология

Показатели холодного времени года в Москве

М.А.Локощенко (кафедра метеорологии и климатологии географического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова) изучал сложную природу климатических изменений в Москве, происходивших во второй половине XX в.

В Центральной России современные изменения климата неоднозначны. За последние полвека тенденция к потеплению отмеча-

лась в середине и в конце холодного времени года, но отсутствовала в период предзимья. Так, в январе линейный тренд температуры составил в среднем за 50 лет $+0.1^{\circ}\text{C}/\text{год}$, а в ноябре $0.0^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Слабое похолодание сменилось с середины 1960-х годов устойчивым ростом температуры, однако в ноябре отмечалась даже тенденция к похолоданию, причем усиливавшаяся со временем вопреки потеплению климата.

Автор исследовал календарные показатели двух важнейших климатических явлений: снежного покрова и промерзания грунта в Москве. Во 2-й половине XX в. даты всех связанных со снегом событий последовательно смещались во времени назад, т.е. наступали в среднем раньше. На исходе холодного сезона этот эффект легко объясним существенным потеплением последних десятилетий. Более же раннее выпадение твердых осадков осенью, образование пороши, а затем устойчивого снежного покрова и т.д. может быть следствием двух причин: тенденции к похолоданию в период предзимья, наблюдавшейся вплоть до последних лет века, и существенным увеличением количества осадков в холодное время года.

Календарные даты промерзания грунта показывают сходные тенденции. Вследствие общего потепления дата окончания промерзания устойчиво смещается в конце холодного сезона назад, а наибольшая его глубина уменьшается. В обоих случаях степень достоверности трендов высокая.

Текущие изменения рассмотренных показателей не односторонне направлены. Весенние календарные даты обнаруживают склонность к существенно более раннему наступлению, а характерные события осенью, связанные с промерзанием грунта, встречного движения вперед в годовом ходе не показывают. Даты же, связанные со снежным покровом, даже тяготеют к смещению назад, несмотря на общее потепление климата.

Всемирная конференция по изменению климата. Тезисы докладов. М., 2003. С.418—419 (Россия).

Метеорология

Морской планктон — над Великими равнинами

В 1977 г. над акваторией Тихого океана, у побережья Мексики, пронесся ураган Нора. Его последствия были в свое время детально описаны. Однако оказалось, что их список не полон: на счет Норы можно отнести и весьма редкое природное явление.

К.Сассен (K.Sassen; Геофизический институт при Университете штата Аляска в Фэрбенксе, США) с коллегами исследовали образцы воздуха, которые были взяты самолетом-лабораторией на высотах 10—13 тыс. м в небе над Великими равнинами (штат Оклахома), в тысячах километров от океана. Анализ показал, что в пробах присутствует планктон, населяющий восточную акваторию Тихого океана. Его частицы вместе с крупинками соли из морской воды стали ядрами конденсации для ледяных кристаллов. Насыщенные этими кристаллами перистые облака поднимались в высокие слои тропосферы, переноса туда частицы соли и микроорганизмов. Видимо, с этим и были связаны необычайно яркие гало вокруг Солнца, наблюдавшиеся в небе Оклахомы после урагана.

Journal of Atmospheric Sciences. 2003. April; Geophysical Institute Quarterly. 2003. V.18. №3. P.4 (США).

География

Геоботаническая карта Арктики

Впервые составлена достаточно подробная геоботаническая карта Арктики, отражающая характер и расположение стойкого растительного покрова по всему заполярью Северного полушария. Она содержит описание 400 растительных сообществ, заселяющих площадь в 7.1 млн км². При этом были учтены данные прежних, менее детальных карт, результаты новых полевых наблюдений, а также информация, полученная с помощью искусственных спутников Земли.

Составление карты заняло 11 лет (вышла в свет в конце 2003 г.). В работе приняли участие специалисты шести стран; головное учреждение — Университет штата Аляска в Фэрбенксе (США).

Параллельно создан Арктический геоботанический атлас; он содержит карты, характеризующие кислотность почв в этом регионе, его растительную биомассу и другие параметры полярной природы. Science. 2003. V.303. №5654. P.21 (США); www.geobotany.uaf.edu/arcticgeobot

Палеоантропология

Ископаемые эмбрионы: в поисках родителей

Один из прискорбных пробелов в палеонтологической летописи — недостаток ископаемых эмбрионов; до недавнего времени они вообще не были известны. В 1994 г. появилось сообщение об открытии эмбрионов трилобитов¹, которое многие палеонтологи встретили с недоверием. Вскоре были получены данные об ископаемых эмбрионах некоторых других организмов, однако подобная их интерпретация вызвала ряд вопросов²: как происходило захоронение находящихся внутри яйца зародышей; почему все эти ископаемые эмбрионы относятся к периоду от 600 до 500 млн лет назад (поздний докембрий и кембрий); какие эволюционные выводы можно сделать, базируясь на этих данных? Ответить на третий вопрос особенно сложно — из-за того, что непросто однозначно установить соответствие между ископаемой эмбриональной стадией и ископаемыми взрослыми организмами.

Кембрийские остатки зародышей беспозвоночных, имевших не прямое развитие (их свободно-плавающая планктонная личинка сильно отличается от взрослого организма), пока неизвестны, несмотря на то что большинству современных морских обитателей свойственно именно не прямое развитие. Причина, возможно,

¹ Zhang X.-G., Pratt B.R. // Science. 1994. V.266. P.637—639.

² Budd G.E. // Nature. 2004. V.427. P.205—206.

не в том, что в кембрии беспозвоночных с непрямым развитием было намного меньше, а в том, что яйца многих кембрийских животных с прямым развитием обладали массивной оболочкой, на матрице которой могла происходить первичная минерализация содержимого яйца. Это позволило эмбрионам сохраниться в ископаемом виде, в отличие от зародышей животных с непрямым развитием, которые заключены в тонкую оболочку.

Ископаемого морского червя *Markuelia*³ описали по остаткам, которые позже, на основании новых находок, интерпретировали как относящихся к эмбриональной стадии⁴. Впоследствии в провинции Хунань на юге Китая были обнаружены остатки эмбрионов *Markuelia* и, что особенно ценно, — на самых ранних и на поздних этапах развития⁵. Это открытие дало уникальную возможность проследить по ископаемым остаткам ход эмбриогенеза. Зародыш (диаметр от 0.2 до 0.4 мм, длина — до 7 мм) размещается внутри яйца, свернувшись в клубок. Степень сохранности позволяет различить мелкие структуры размером от 0.3 мкм. Находки датированы средним и поздним кембрием (примерно 500 млн лет назад). Взрослые представители *Markuelia* неизвестны, но строение эмбриона заставляет предположить, что это были организмы, близкие к современным головохоботным червям — киноринхам, приапулидам и лорициферам. Эмбриональное развитие у *Markuelia*, по-видимому, проходило по более примитивной схеме, чем у ее современных родственников. Если будут обнаружены ископаемые остатки взрослых представителей *Markuelia*, это позволит описать полный жизненный цикл кембрийского животного.

© Петров П.Н.,

кандидат биологических наук
Москва

³ Вальков А.К. // Поздний докембрий и ранний палеозой Сибири, венские отложения. Новосибирск, 1983. С.37—48.

⁴ Bengston S., Yue Z. // Science. 1997. V.227. P.1645—1648.

⁵ Dong X.-P., Donoghue P.C.J., Cheng H., Liu J.-B. // Nature. 2004. V.427. P.237—240.

Палеоантропология

Неандертальцы нам не предки

С начала 30-х годов XX в., когда в Палестине (ныне — территория Израиля) были обнаружены ископаемые останки *Homo sapiens* (в пещерах Кафзех и Схул) и неандертальцев (в близлежащих пещерах Амуд и Кебара), палеоантропологи полагали, что неандертальцы — предки современного человека. Но исследования 1980-х годов показали, что люди современного типа жили здесь 110—92 тыс. лет назад, а неандертальцы — примерно на 40 тыс. лет позже. Следовательно, они не могут считаться нашими предками.

Недавно эта гипотеза получила подтверждение. В 2002—2003 гг. группа ученых под руководством палеоантрополога М.Шенингера (M.Schoeninger; Университет штата Калифорния в Сан-Диего, США) и геохимика Г.Шварца (H.Schwarz; Макмастерский университет в Гамильтоне, Канада) провела изотопный анализ зубной ткани найденных в пещерах животных, которые служили пищей древним людям (*H.sapiens* поедали в основном коз, неандертальцы — газелей).

Известно, что в первые годы жизни животного в его жевательном аппарате накапливаются изотопы углерода и кислорода. По соотношениям $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ можно судить о степени влажности травы, которой питалась особь. Оказалось, что козы щипали траву на засушливых пастбищах, и, значит, люди современного типа, потреблявшие их мясо, жили в сухом климате (примерно таком, как и сегодня на этой территории). Газели же, а следовательно, и неандертальцы, жили в более прохладных и влажных условиях. По-видимому, изменение климата на Ближнем Востоке (кстати, специалисты знают, что оно происходило именно в описываемый период) и разделило существование *H.sapiens* и неандертальцев значительным временным промежутком. Science. 2003. V.300. №5621. P.893 (США).

Социология. Археология

«И вечный бой...»

Всегда ли люди воевали между собой, или существовал некогда «золотой век», когда человечество жило в мире? Судя по исследованиям археологов К.Фланнери и Дж.Маркуса (K.Flannery, J.Marcus; Университет штата Мичиган в Анн-Арборе, США), военные столкновения ведутся с древнейших времен. Ученые провели раскопки в долине Оахака (юг Центральной Мексики). О боевых действиях в этой местности известно еще из хроник, составленных испанскими конкистадорами XVI в. В частности, в описаниях сражений между жителями деревни, ныне называемой Сан-Хосе Моготе, и их соседями, указывается, что война между ними, по утверждениям противоборствующих сторон, шла «всегда». Сейчас возраст этой деревни определяется примерно в 3600 лет.

Археологи вскрыли в Сан-Хосе Моготе остатки жилища, которое, судя по результатам радиоуглеродного датирования, было сожжено около 3500 лет назад. Найденны также многочисленные следы деревянных оборонительных сооружений, явно преданных огню примерно 3200 лет назад. Свидетельства боевых действий обнаружены и в соседних деревнях. Так, в одной из них найден своеобразный «стеллаж» с 61 человеческим черепом — видимо, победители выставили свои боевые трофеи на всеобщее обозрение. Возраст этой находки 2000 лет. Science. 2003. V.301. №5641. P.1842 (США).

Лингвистика

Когда разошлись индоевропейские языки?

Ответ на этот вопрос дали биолог-эволюционист Р.Грей (R.Gray; Оклендский университет, Новая Зеландия) и его аспирант К.Аткинсон (Q.Atkinson). Исследователи подвергли сравнительному анализу основные характеристики словарей 144 индоевропейских языков, при-

чем использовали как традиционный глоттохронологический метод датирования языковых систем, так и способ, обычно принятый в эволюционной биологии, — построение родословного «древа».

Глоттохронология — область сравнительно-исторического языкознания, занимающаяся выявлением скорости языковых изменений. Она основана на установлении процентных соотношений когнатов — слов, имеющих общий корень и, следовательно, родственную связь. (Характерный пример когнатов: на санскрите — «agnis», по-латыни — «ignis», по-русски — «огонь».) Этот метод позволяет определить, когда именно сравниваемые языки отошли друг от друга и стали самостоятельными.

Первое в филологии эволюционное «дерево» построила А.Дайен (I.Dyren; Йельский университет в Нью-Хейвене, США): она составила весьма полную базу данных из 2449 наборов различных когнатов, встречающихся в 87 индоевропейских языках. Грей и Аткинсон добавили в список языков хеттский, который был распространен в Анатолии (центральной области нынешней Турции) в XVIII—XII вв. до н.э., и тохарские, использовавшиеся 1000—2200 лет назад населением западных районов Китая.

Анализ показал: индоевропейские языки начали расходиться 9800—7800 лет назад (вероятнее всего около 8700 лет назад). Наиболее близко к корням языкового «древа» оказался хеттский. Иначе говоря, носителями протоиндоевропейского языка были земледельцы Анатолии. Такой вывод не согласуется с известной гипотезой, по которой эта почетная роль принадлежит древним скотоводам-кочевникам юга нынешней Украины.

Однако обе теории не столь уж сильно противоречат друг другу. Так, по Грею и Аткинсону, языковые группы Восточной Европы (балтийская и славянская) и Западной Европы (кельтская, романская и германская) разошлись около 6500 лет назад, и эта датировка очень близка к традиционной. Science. 2003. V.302. №5650. P.1490 (США).

Профессора дореволюционной России

Н.М.Чернова

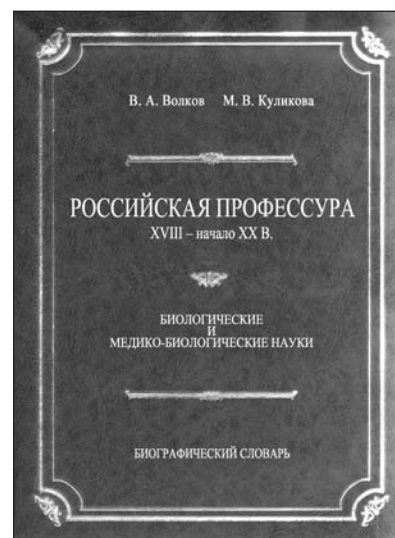
доктор биологических наук
Москва

Всемирно признанное российское естественнонаучное образование создано трудом разных поколений ученых и педагогов, деятельность которых не всегда попадала в поле зрения историков. Эти пробелы восполняет биографический словарь, вышедший первым в многотомной серии «Российская профессура. XVIII — начало XX вв.», задуманной Институтом естествознания и техники Российской академии наук. Том посвящен деятелям биологических и медико-биологических наук. Авторы книги проделали гигантскую кропотливую работу, собирая разрозненные сведения из многочисленных архивов, библиотек, справочных изданий и рукописей. Проанализированы как центральные архивы, так и документы, хранящиеся в высших учебных заведениях страны и ряда стран ближнего и дальнего зарубежья. Исследованы студенческие дела будущих профессоров, их послужные списки, автобиографии, записи полицейских учреждений и множество других источников, позволивших восстановить жизненный путь 766 ученых, работавших в области просвещения. В этот список вошли все лица, получившие в России ученое звание профессора до 25 октября 1917 г.

© Чернова Н.М., 2004

В предисловии рассказывается об истории развития научной аттестации университетских кадров России, начиная с указов Екатерины II 1764 и 1791 гг. Сегодня актуально звучат формулировки первого университетского устава 1804 г. о должностных обязанностях профессором: «Преподавать курсы лучшим и понятнейшим образом и соединять теорию с практикой во всех науках, в которых сие нужно. Преподавая наставления, пополнять курсы свои новыми открытиями, учиненными в других странах».

Российская наука обязана своим профессорам не в меньшей степени, чем образование. Это прослеживается в тексте статей, посвященных отдельным личностям. Каждая статья построена по единому плану: хронологические сведения о рождении и смерти, о темах научных защит и датах получения ученых званий, местах работы и стажировок, краткая характеристика научной, педагогической и общественной деятельности, а также перечень основных трудов и открытий. В эту, казалось бы, сухую схему авторы вкрапливают фактические материалы, позволяющие оценить характер эпохи и общественной жизни. Так, читая о том, что профессор С.С.Куторга в Петербургском университе-



В.А.Волков, М.В.Куликова.
РОССИЙСКАЯ ПРОФЕССУРА.
XVIII — НАЧАЛО XX вв. Биологические и медико-биологические науки. Биографический словарь.

СПб.: РХГИ, 2003. 544 с.

те в 1860 г. (!) первым знакомил студентов России со взглядами Чарльза Дарвина (книга которого вышла в Англии в 1859 г.), понимаешь, насколько тесны были связи российской науки с общеевропейской и как стремительно распространялись научные идеи. Сведения о том, что похороны профессора В.М.Шимкевича в 1923 г. превратились в огромную траурную процессию и его гроб несли на плечах от Университета до Смоленского кладбища, позволяют представить атмосферу единения научного сообщества Петербурга и уважения к своим лидерам и учителям.

Авторы по крупицам собрали материалы, касающиеся учебной и научно-организаторской деятельности профессоров биологии и медицины, как знаменитых, так и мало известных. Многогранная жизнь большинства из них впервые может быть оценена полномасштабно, не только по следам научных публикаций. Бережно собраны сведения о первых профессорах-натуралистах XVIII в., заложивших основы российского естественнонаучного образования. В то время в России трудился и целый ряд ученых, специально приглашенных из Западной Европы. Одни из них, отработав положенный срок, возвращались обратно, а для других Россия становилась второй родиной. Иоганн Георг Гмелин за 17 лет служения Петербургской академии наук оставил яркий след в ее истории. Он был составителем инструкций и одним из руководителей Второй Камчатской экспедиции (1733—1743), отказавшись от кафедры химии в пользу М.В.Ломоносова, руководил кафедрой ботаники и натуральной истории. Вернувшись в Тюбинген, Гмелин до конца жизни обрабатывал материалы, собранные в экспедиции, опубликовал четыре тома «Флоры Сибири» и дневник «Путешествие по Сибири». Все свои ботанические, зоологические и минералогические коллекции он заве-

щал Петербургской академии наук. Каспар Фридрих Вольф прибыл в Россию в 33-летнем возрасте, не получив признания на родине и восстановив против себя официальную науку в Германии за смелые по тому времени идеи эпигенеза — эмбрионального развития организмов. В Петербурге он прожил с семьей до самой смерти, приняв российское подданство, и активно трудился, заведя анатомическим театром, затем Ботаническим садом и развивая свои дальнейшие эмбриологические исследования.

Трудно переоценить то, что было сделано для развития российского образования и науки Григорием Ивановичем Фишером (Фишер фон Вальдгейм Иоганн Готтгельф Фридрих), учителями и друзьями которого в Европе были А.Гумбольдт, Ж.Кювье и Ж.Б.Ламарк. С 1804 г. в течение почти полувека он читал лекции в Московском университете и Отделении Медико-хирургической академии, был создателем зоологического и сравнительно-анатомического музеев в этих учреждениях, активным участником многочисленных научных обществ России и Европы. Именно Фишер в 1805 г. стал основателем старейшего в стране Московского общества испытателей природы (МОИП). Им же возвращен большой круг исследований по палеонтологии, геологии и зоологии. Одним из его учеников был К.Ф.Рулье.

Первые российские профессора Московского университета проходили обширнейшую научную подготовку в университетах Западной Европы, чаще всего — в нескольких. Они обучались у лучших естествоиспытателей того времени, а по приезде домой подвергались строгому экзамену, читали пробные лекции и только после этого получали право обучать студентов. Например, первый профессор натуральной истории и земледелия Московского университета М.Н.Афонин (1739—1810) защи-

тил диссертацию под руководством К.Линнея, был придирчиво экзаменован комиссией из выдающихся естествоиспытателей (С.Г.Забелина, П.Д.Вениаминова и И.Х.Керштенса) и только после этого получил должность по кафедре зоологии и ботаники. О его широком образовании свидетельствует хотя бы перечень читаемых лекций: по ботанике, зоологии, минералогии, земледелию, домоводству (всем отраслям животноводства), а также владение по меньшей мере четырьмя языками: немецким, шведским, датским и, конечно, латынью. Ему принадлежит проект организации в России Музея почвоведения. Яркую, насыщенную событиями жизнь прожил В.Ф.Зуев (1754—1794), ученик П.С.Палласа, путешествовавший вместе с ним по Уралу и Сибири, оставивший труды по ихтиологии и метаморфозу животных. Главная же память о нем — первый русский учебник для школ «Начертание естественной истории», превосходящий все тогдашние руководства по этому предмету.

Судьбы и биографии профессоров XIX в. свидетельствуют о дальнейшем развитии интеллектуальной элиты России в области естественных наук. Множится количество образовательных центров и растет число ученых, посвятивших себя подготовке молодого поколения. Помимо двух столиц, Дерпт, Варшава, Краков, Киев, Харьков, Казань, Одесса, Томск, Воронеж и ряд других городов в своих университетах концентрируют лучшие умы, развивают научные школы. Вместе с тем из собранных авторами книги сведений ясно, насколько единой была научная Россия и как тесно были связаны ее представители. Целый ряд профессоров принимает участие в организации и работе кафедр и научных учреждений разных городов, широко разъезжая по стране, что прослеживается по их биографиям и послужным спискам.

Статьи тома документально свидетельствуют о российских профессорах как активнейшей силе в развитии общества и государства. А.Н.Краснов, например, в 1889—1912 гг. читал лекции по географии и ботанике не только в своем учебном заведении — Харьковском университете, но и на Высших женских курсах, организовал общедоступные вечерние курсы для рабочих на тысячу слушателей, добиваясь превращения их в Народный университет. Он же был организатором и первым директором Батумского ботанического сада у Зеленого Мыса, руководил опытами по акклиматизации растений, был основателем и редактором журнала «Российские субтропики» и редактором газеты «Южный край». Это описание деятельности фактически рядового профессора, тогда как результаты труда наиболее выдающихся ученых просто поражают воображение и могут быть приравнены к подвигу. Например, В.А.Догель, создатель отечественной школы протозоологов и паразитологов, автор фундаментальнейших научных сводок, учебников и пособий для высшей школы, требовавших гигантского напряженного труда, сочетал эту деятельность с активной организаторской и административной работой. В течение 40 лет (с 1915 по 1955 г.) он возглавлял кафедру зоологии Петербургского университета, выполнял в разные годы функции декана и проректора, заведовал кафедрой и читал лекции в Педагогическом

институте, руководил лабораториями в четырех крупных научных институтах города: Институте опытной агрономии, Ленинградском ихтиологическом институте, Зоологическом институте АН СССР, Петергофском биологическом институте, где одновременно был директором. Создал в СССР сеть лабораторий по изучению паразитарных и бактериальных болезней рыб. В годы войны основал научную школу в Казахстане, где работал в университете и возглавлял Зоологический институт.

СССР получил мощнейшее наследие от дореволюционной России — широкий круг высококвалифицированных ученых-естествоиспытателей, видящих весь смысл своего существования в дальнейшем развитии отечественной науки и образования. Даже в годы после Великой Отечественной войны в СССР продолжали свое служение науке дореволюционные профессора уже преклонного возраста, такие как Л.С.Берг, В.А.Догель, Н.А.Максимов, К.И.Мейер, Д.Н.Прянишников, С.Е.Пучков, А.А.Сапегин, Д.К.Третьяков, Д.М.Федотов, А.Ф.Флеров, И.И.Шмальгаузен, П.Ю.Шмидт, В.И.Эдельштейн и другие. Последним из могикан профессуры начала XX в. был К.И.Скрябин, скончавшийся в 1972 г. Эта эстафета научных школ пронесена через всю сложную первую половину столетия, определив фундаментальность и многие достижения биологии и медицины в СССР.

С элитой российской науки и просвещения читатели могут

познакомиться и зрительно: в биографическом словаре приведено более 400 портретов и фотографий, ряд из которых публикуется впервые.

Вышедший том, без сомнения, уникальное издание. Поднят пласт сведений, дающих возможности новых исторических изысканий в развитии естественных наук и просвещения в России. Так, легко можно представить круг лиц, одновременно работавших в разных городах — Москве, Санкт-Петербурге, Дерпте, Казани, Варшаве, Одессе, Томске и др., проследить зарождение и активные связи научных школ, смену поколений. Можно обратить также внимание на преемственность в кругах научно-преподавательской интеллигенции. На этот счет в словаре содержится много ценных замечаний — чьим учеником или продолжателем является тот или иной профессор, а также ссылки на родственные связи ученых. Конечно, не обо всех персоналиях удалось собрать одинаково подробные и документально подтвержденные сведения. Многое уже утеряно, но то, что удалось сделать составителям биографического словаря — их большая заслуга перед обществом. С выходом в свет следующих томов, посвященных другим направлениям науки, историческая значимость сведений, собранных в первом томе, возрастет еще больше в связи с возможностями более широких сопоставлений в общей панораме развития науки и просвещения в России. ■

История науки

Р.К.Баладин. МИКЛУХО-МАКЛАЙ: Маклай-тамо рус. М.: Астрель, 2004. 509 с. (Из сер. «Русские путешественники».)

Знаменитый путешественник и ученый Николай Николаевич Миклухо-Маклай (1846—1888) — один из немногих деятелей отечественной истории, имя которого известно каждому со школьной скамьи. Родился в семье инженера, в 1863 г. поступил на естественное отделение физико-математического факультета Петербургского университета, откуда был исключен за участие в студенческом движении. В 1866—1867 гг. совершил ряд путешествий: на Канарские острова, в Марокко, Данию, Норвегию, Швецию и Францию. Занимался исследованием морской фауны на берегу Красного моря. По возвращении в Россию работал в Зоологическом музее Петербургской академии наук, куда и передал в дар свои этнографические коллекции, собранные во время путешествий.

В 1870 г. на корвете «Витязь» Миклухо-Маклай отправился из Кронштадта к берегам Новой Гвинеи. В дальнейшем он посвятил свою жизнь изучению коренного населения Юго-Восточной Азии и островов Тихого океана. Участвовал в работе Линнеевского общества в Австралии, основал близ Сиднея биологическую станцию. Впервые подробно описал меланезийский антропологический тип, распространенный в Западной Океании и на островах Юго-Восточной Азии.

Новый роман писателя-историка Р.К.Баладина рассказывает о нелегкой островной жизни великого путешественника. В приложении к книге опубликованы выдержки из

дневника «Фрагменты чтений в Географическом обществе (1882 г.)» и рисунки Миклухо-Маклая, представляющие особый интерес.

История науки

Л.И.Лотова, А.К.Тимонин, Г.Г.Куликова и др. КАФЕДРЕ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ 200 ЛЕТ: Учебно-методическое пособие. Отв. ред. А.К.Тимонин. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. 152 с.

Книга написана в связи с 250-летним юбилеем Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова и посвящена кафедре ботаники, которая моложе самого университета на 50 лет. В ней рассказано об истории становления кафедры, о ее заведующих, о научных достижениях и трудностях, возникавших в ходе реорганизации университета, в частности биологического факультета, и их преодолении. Большое внимание уделено современным научным направлениям, существующим в ботанике.

Издание иллюстрировано оригинальными фотографиями и предназначено для всех желающих познакомиться с кафедрой морфологии и систематики высших растений — прямой наследницей кафедры ботаники, организованной в 1804 г. Это учебное пособие, рассчитанное на ботаников, историков и широкий круг читателей, интересующихся развитием науки в России. Создатели книги надеются, что она привлечет выпускников кафедры, которые, вероятно, с теплым чувством вспомнят студенческие годы, проведенные в Alma Mater.

Авторы сожалеют о возможных погрешностях, допущенных при написании книги, и

будут благодарны читателям, если они сообщат на кафедру об обнаруженных неточностях, которых не удалось избежать.

История науки

БОРИС ЛЬВОВИЧ АСТАУРОВ. Очерки, воспоминания, письма, материалы. Сост. Е.Б.Астаурова; Отв. ред. О.Г.Строева. М.: Наука, 2004. 427 с.

Биолог, академик АН СССР, Борис Львович Астауров (1904—1974) был создателем и директором Института биологии развития, продолжал традиции Н.К.Кольцова. Его научные труды посвящены проблемам эмбриогенеза и цитогенетики, биологическим основам шелководства. Борис Львович разработал методы искусственного (термического) партеногенеза и описал способ получения полного межвидового андрогенеза у тутового шелкопряда.

В сборнике, выпущенном к 100-летию Астаурова, обсуждается широкий круг тем — о познании, о путях развития науки и ее месте в обществе, о нравственности, об организации науки, — которые так широко были представлены в статьях и записках Астаурова. Опубликованы его письма к С.С.Четверикову, Г.К.Хрущеву, Д.К.Беляеву и многим другим. Эта переписка также представляет собой исторический документ, который правдиво рисует обстановку тех лет и служит доказательством того, что можно оставаться порядочными людьми вопреки жестким условиям и тяжелым временам.

Все авторы с любовью и теплотой вспоминают общение с Борисом Львовичем, его научное творчество, борьбу за чистоту столь любимой им науки — генетики.

«Русалка» найдена!

А.А.Никонов,

доктор геолого-минералогических наук

Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН
Москва

В №4 журнала за 2004 г. опубликована статья В.О.Чикина под названием «Тайна исчезновения “Русалки”». Статья напоминает о трагическом событии в Балтийском море, когда 111 лет назад в мирное время неожиданно исчез со всем экипажем один из русских боевых кораблей — броненосец «Русалка». И судьба его якобы до сих пор неизвестна. Однако «Русалка» найдена. В 2003 г.

12 сентября 1893 г. в приложении к газете «Кронштадтский вестник» сообщалось следующее: «В главном морском штабе получено 10 сентября донесение от командира Свеаборгского порта, что к островам Сандхамну, Кемаре и другим близ Гельсингфорса прибило разные судовые принадлежности <...> броненосца береговой охраны “Русалка”. Немедленно было сделано распоряжение о высылке для поисков “Русалки” из Кронштадта крейсера “Крейсер” <...> Поиски продолжатся. На “Русалке” находились 12 офицеров, показанных в прилагаемом списке, и 166 низших чинов».

Что же произошло с боевым броненосцем, в сущности, так и осталось неизвестным.

В советское время о «Русалке» практически не вспоминали. Разве что экскурсантам при осмотре на берегу Таллинского залива памятника «Русалка» упоминали о гибели 178 российских моряков вместе с кораблем. Но мало кто знал, что кроется за выбитой на гранитных блоках надпись «Героям мученикам — помнящая Россия».

В 30-е годы XX в. в СССР в специальном сборнике ЭПРОН (экспедиция подводных работ особого назначения) редакция так комментировала статью «Гибель “Русалки” и ее поиски»: «Обстоятельства гибели скрыты от широких кругов того времени [времени гибели — А.Н.], а причины гибели не разгаданы. Только теперь, после находки, обстановка и причины гибели в большой степени разъясняются и могут быть опубликованы».

Этому вторил и сам автор статьи: «Царские тиски для печати не давали последней возможности широко осветить имевшие место морские катастрофы» [1]. Подразумевалось, что в свободном пролетарском государстве обстоятельства и причины получают широкую огласку. Лукаво! В этот момент уже существовал полный запрет на публикацию любых сведений о катастрофах, даже и не военных.

Что же в действительности выяснилось тогда в деле о «Русалке»? И о чем широкая публика могла узнать из «царской» печати по свежим следам? Многое.

Броненосный флот Россия начала строить в 60-х годах XIX в. Саму «Русалку» спустили на воду с Петербургской верфи в 1866 г. Технические и военные характеристики корабля известны. Длина 63 м, водоизмещение около 2 тыс. т, скорость — до 9 узлов, углубление — 3.2 м, высота надводного борта — 0.76 м. Корабль имел две машины и соответственно два ходовых винта. Это важно отметить, поскольку в солидных изданиях последних лет бытует утверждение, будто у корабля был лишь один винт.

Вскоре, в 1869 г., броненосец сел на скалы в Финских шхерах и получил сильную течь. Его перевели в отряд береговой обороны, так как конструкция типа «Монитор» оказалась непригодной к плаванию в штормовую погоду.

После гибели броненосца на его поиски направили 15 кораблей, но найти «Русалку», даже место аварии, не удалось. Из 178 членов экипажа обнаружено только тело матроса, втиснутое под настил шлюпки, прибитой волнами к одному из островов. Поиски велись на дне Финского залива в течение месяца, пока не начались заморозки и штормы. Результаты не было. То же произошло и летом следующего, 1894 года, несмотря на усилия экипажей нескольких кораблей с тралами (обследовано 30 квадратных миль), группы поиска с воздушного шара (150 миль) и команды водолазов (156 спусков). Водолазы в то время не могли работать на глубине свыше 50 м, а с воздушного шара видимость в воде не превышала 3—6 м. В конце концов склонились к тому, что «найти этот броненосец в море чрезвычайно трудно, подобно тому как трудно найти иголку в большой комнате или головку булавки, потерянную где-нибудь на дороге. “Русалку” немислимо отыскать, если на помощь не придет сверхъестественное счастье».

Естественно, по факту гибели корабля со всем экипажем сразу начала работать следственная комиссия. Работа ее продолжалась несколько месяцев. Затем «Государь Император в день 13 декабря Высочайше повелеть соизволил <...> произвести по настоящему делу суд».

Отчет комиссии и судебного разбирательства общим объемом в 120 страниц с подробной публикацией опросов, экспертиз, рассмотрения материа-



Надпись, выбитая на памятнике экипажу «Русалки». Ревель (Таллин), 1902 г.

Фото А.А.Никонова.

лов и заключений стал общедоступным уже к середине 1894 г.

Следствие сосредоточилось на трех позициях: состояние корабля и его готовность к плаванию, условия и прохождение рейса, действия основных должностных лиц.

Способность корабля к плаванию и реальные ходовые качества подтверждались заключением морских инженеров Кронштадта в начале навигации 1893 г. Оборудование было исправно. Верхняя палуба сильно текла, но не опасно. Корабль был пригоден к эксплуатации еще 9–17 лет. Выяснилась только одна деталь: штормовые крышки палубных люков оставлены были в Кронштадте. «Русалка» исправно прослужила лето 1893 г. в Ревеле (Таллине), проводила плановые учебные стрельбы и осенью должна была отправиться к месту зимней дислокации под Выборгом.

Следственная комиссия полностью исключила версию взрыва на судне и признала, что трагедия произошла «от внешних причин».

Как тогдашнее общество откликнулось на гибель моряков? Несколько месяцев со страниц газет не сходили материалы о «Русалке» и ее жертвах. Опубликован некролог со сведениями о погибших. Выдвинута инициатива подготовить брошюру с портретами офицеров и нижних чинов, чтобы вырученные деньги направить их семьям.

Правительство распорядилось выдать вдовам и детям полную пенсию по первому разряду раненых. Месячная пенсия вдовам офицеров устанавливалась в 500 руб., матросов — 60 руб., детям-сиротам по 150 и 40 руб. соответственно. Добровольные пожертвования (немалые!) шли отдельно под надзором специального комитета.

4 октября 1893 г. в Ревеле отслужили торжественную панихиду. В ноябре редакция петербургской газеты «Новое время» подняла вопрос о продолжении поисков, на средства газеты сотрудники обыскали свыше 400 верст береговой линии с парашютов и более 200 верст пешком, опросили около 100 прибрежных жителей. Было обнаружено дополнительно 30 обломков и предметов с корабля. Официальные поиски продолжались все следующее лето. Результата не было. Тем дело и кончилось.

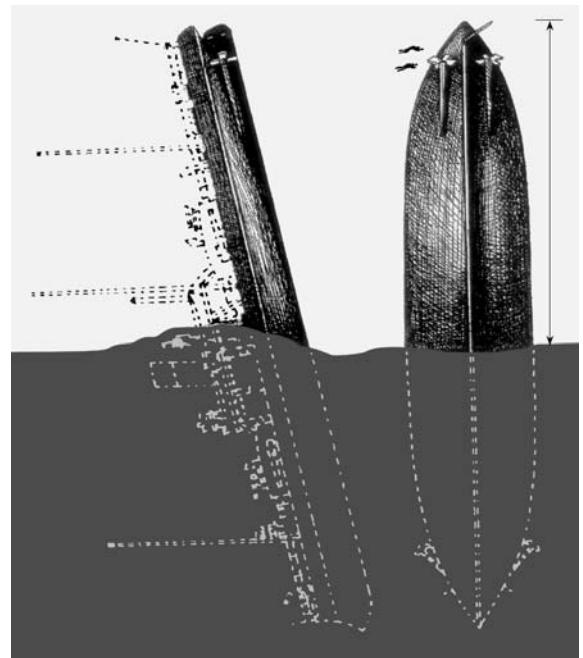
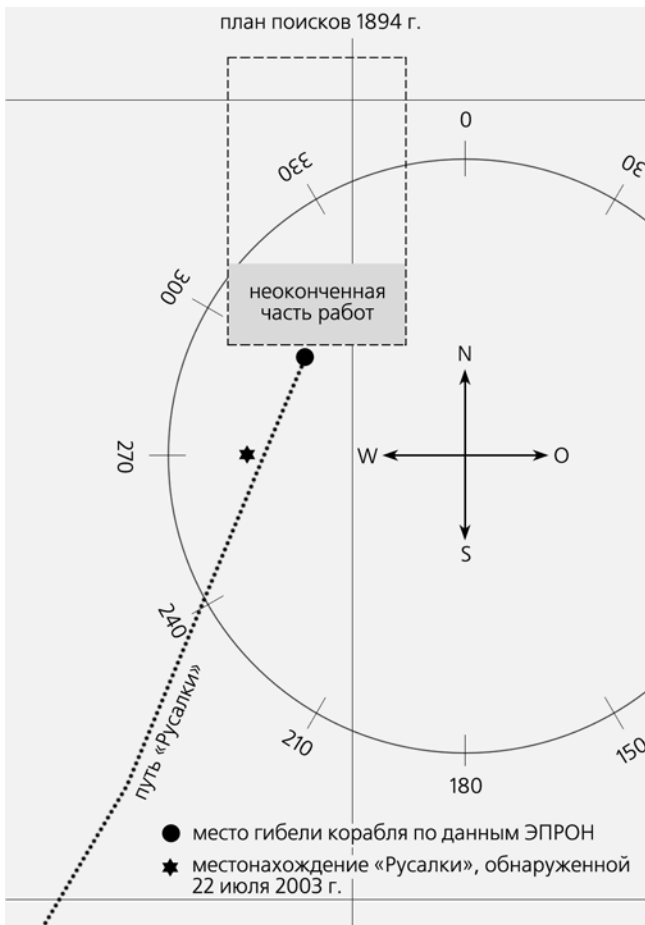
В девятую годовщину гибели в Ревеле открыли памятник. При почетном карауле, в присутствии губернатора, высших чинов флота, общественности города. Памятник почитается таллинцами до сих пор.

Мысль о поисках «Русалки» возникла в независимой Эстонии. Решающую роль сыграли опыт, энтузиазм и упорство одного человека. Будучи капитаном по профессии и морским археологом по призванию, искателем по натуре и опыту последней четверти века, сотрудник Морского музея в Таллине Велло Мясс заинтересовался «Русалкой». (Автор этой публикации лично знаком с Велло Мяссом с 2001 г. и потому владеет информацией о находке из первых рук.)

Ни правительство страны, ни скромный по финансовым возможностям Морской музей Таллина обеспечить экспедицию были не в состоянии. Но музей владел исследовательским судном, и это стало решающим. Подготовка шла несколько лет. Необходимо было изучить материалы, получить согласие финских властей, обеспечить возможность проведения водолазных работ. Закупить современные приборы и оборудование для навигации и подводных поисков не представлялось возможным, пришлось многое изготавливать подручными средствами.

Вопрос, где искать, сначала не стоял. В первый «русалочный» рейс исследовательское судно «Маре» вышло в июне 2003 г. к пункту, обозначенному в публикациях ЭПРОН как место гибели (находки) «Русалки». Это непосредственно к югу от границы прямоугольника, обследованного в 1893–1894 гг. Поиски не дали никаких результатов, и судно вернулось в порт. Надо было действовать иначе. Представив себя командиром «Русалки», как опытный навигатор, Мясс проложил на карте курс корабля и, рассчитав по имеющимся сведениям скорость хода в конкретных погодных условиях, наметил прямоугольник для поисков значительно южнее прежнего.

В новый рейс отправились во второй половине июля. 22 числа через 65 мин после начала работы гидролокатора бокового обзора прибор обнаружил на дне корпус судна. Глубина составляла 74 м. Находка оказалась в 3 милях южнее указанного в материалах ЭПРОН. Начались погружения водолазов. Проводи-



Положение броненосца «Русалка», наполовину погружившегося в ил. Установлено командой капитана В.Мясса в 2003 г. Рисунок В.Мясса.

Схема пути следования броненосца «Русалка» из Ревеля в Гельсингфорс.

лось только наружное обследование. Главное было удостовериться в том, что корабль — это именно «Русалка». Исследователи не считали возможным проникать внутрь, чтобы не потревожить прах моряков в подводной братской могиле. Но и наружное обследование оказалось задачей весьма непростой: корпус корабля был опутан зацепившимся и обмотавшимся вокруг рыболовецким тралом.

Обследование, естественно, сопровождалось видеосъемкой при свете мощного (самодельного!) излучателя. Первое, на что наткнулись водолазы, были бронзовые винты корабля. По типу — точно такие, какие стояли на «Русалке». По характерным деталям корпуса, заранее известным, сомнения удалось снять: найдена именно «Русалка». 25 июля 2003 г. первое сообщение о находке появилось в эстонской прессе. В августе прошло несколько телерепортажей с документальными видеосюжетами по эстонскому и российскому телевидению, интервью первооткрывателя, были и газетные публикации [3, 4, 5].

В каком же виде был обнаружен корабль и что нового можно сказать о причине гибели судна?

Во-первых, и это самое главное, судно не лежало на дне, как указывалось в публикациях сотрудников ЭПРОН, но корпус его торчал со дна в близком к вертикальному положению, кормой вверх. Носом оно вошло в ил так, что надо дном торчала только поло-

вина корпуса. Этот монумент на братской могиле 177 моряков в два раза выше того памятника, что был поставлен в 1902 г. на набережной Таллина.

Второе, самое важное и неожиданное открытие — положение корпуса таково, что следует принять направление хода не к Хельсинки, а к Таллину. Третье — круглая орудийная башня в кормовой части отсутствовала, открытыми оказались палубные люки.

И еще. Лопасть руля была повернута так, что свидетельствовала о маневре правого поворота в момент гибели.

Все это дает возможность уточнить обстоятельства гибели корабля.

После полудня 7 сентября, когда ветер стал усиливаться, а вода попадать внутрь корабля через верхнюю палубу, капитан судна не повернул обратно к Ревелю, хотя до него было ближе, чем до Финских шхер, но продолжал идти взятым курсом. Ход был замедлен, корабль рыскал носом, волны перекачивались через палубу. Так продолжалось час или два. Командир с вахтенным офицером, скорее всего, оставался в рубке на верхней палубе. Наконец, ситуация стала столь угрожающей, что капитан В.Х.Иениш принял решение повернуть обратно. Весь экипаж находился на нижней палубе, по-видимому, кроме нескольких человек (труп одного из них, случайно втиснутого в шлюпку, и выбросило на берег),

но к спасению на шлюпках не готовились. Значит, волна позволяла, по мнению командира, совершить маневр. Маневр, по-видимому, прошел благополучно, но сразу после этого судно накрыла особо сильная волна или цуг волн, большая масса воды мгновенно попала через открытые люки (крышки от них оставались на складе в Кронштадте!) в носовую часть корабля, который мгновенно погрузился. Это был конец. Никто не успел ничего сообразить и предпринять, тем более, внутри корабля. Он по инерции спикировал в глубину, ударился носом о дно, внедрил как торпеда в ил и запрокинулся кормой...

«Русалка» стоит на дне. Носом вниз, наполовину увязнув в иле. Как монумент. Корабль найден эстонцами в контролируемых Финляндией водах. Принадлежит же он России. Эстонцы не посчитали возможным проникать внутрь обнаруженного ими судна и что-либо там трогать. По убеждению капитана Мясса, тревожить прах погибших моряков не следует. Не будут этого делать и финны.

Морской музей Таллина сразу официально известил российское посольство о находке и по просьбе последнего передал все полученные материалы, включая и подводные съемки. Естественно, все это посту-

пило в распоряжение Военно-морского ведомства страны. Отклика в Эстонии не получили до сих пор.

Казалось бы, все вышеприведенное для читателей «Природы» прямого профессионального интереса не представляет. На самом деле не так.

Стихия, конечно, свою роль в гибели «Русалки» сыграла. Ведь шторм-то был. Но если капитан Иениш решился на маневр поворота, уже приближаясь к финским берегам, значит, высота волн не была критической для судна. Должно было произойти нечто чрезвычайное. Что? На этот вопрос в течение 110 лет ответить было невозможно. На 111-м году можно попытаться.

В апреле 2004 г. в «Докладах АН» вышла статья коллектива океанологов-гидрофизиков, рассматривающая случаи аномально высоких волн на море [6]. Оказывается, таковые, хотя и редко, бывают. «Волны-убийцы» возникают внезапно, превосходят в несколько раз высоту среднего волнения, имеют одиночный характер и по времени занимают всего несколько секунд [7]. Это явления типа солитонов. Механизм их возникновения еще не вполне определен. Не в этом ли кроется «тайна исчезновения «Русалки»?» ■

Литература

1. Ларионов Л.В. // ЭПРОН. Л., 1934. С.202—210.
2. Чикер Н.П. Служба особого назначения. Хроника героических дел. М., 1975.
3. Никонов А.А., Мясс В. // Чудеса и приключения. 2004. №1. С.34—37.
4. Никонов А.А. / Московские новости. 2003. №37. С.22.
5. Mäss V. // Postimees. Таллин. 20 сентября 2003.
6. Дивинский Б.В., Левин Б.Ф., Лопатухин Л.И. и др. / ДАН. 2004. Т.395. №5. С.690—695.
7. Hopkins M. Nature. 2004. V.430. P.492.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Е.А.ПИМЕНОВА

Графика, верстка:
Д.А.БРАГИН

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,
Москва, ГСП-1, Мароковский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-26-33
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 17.09.2004
Формат 60×88 1/8
Бумага типографская №1,
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 8716
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6