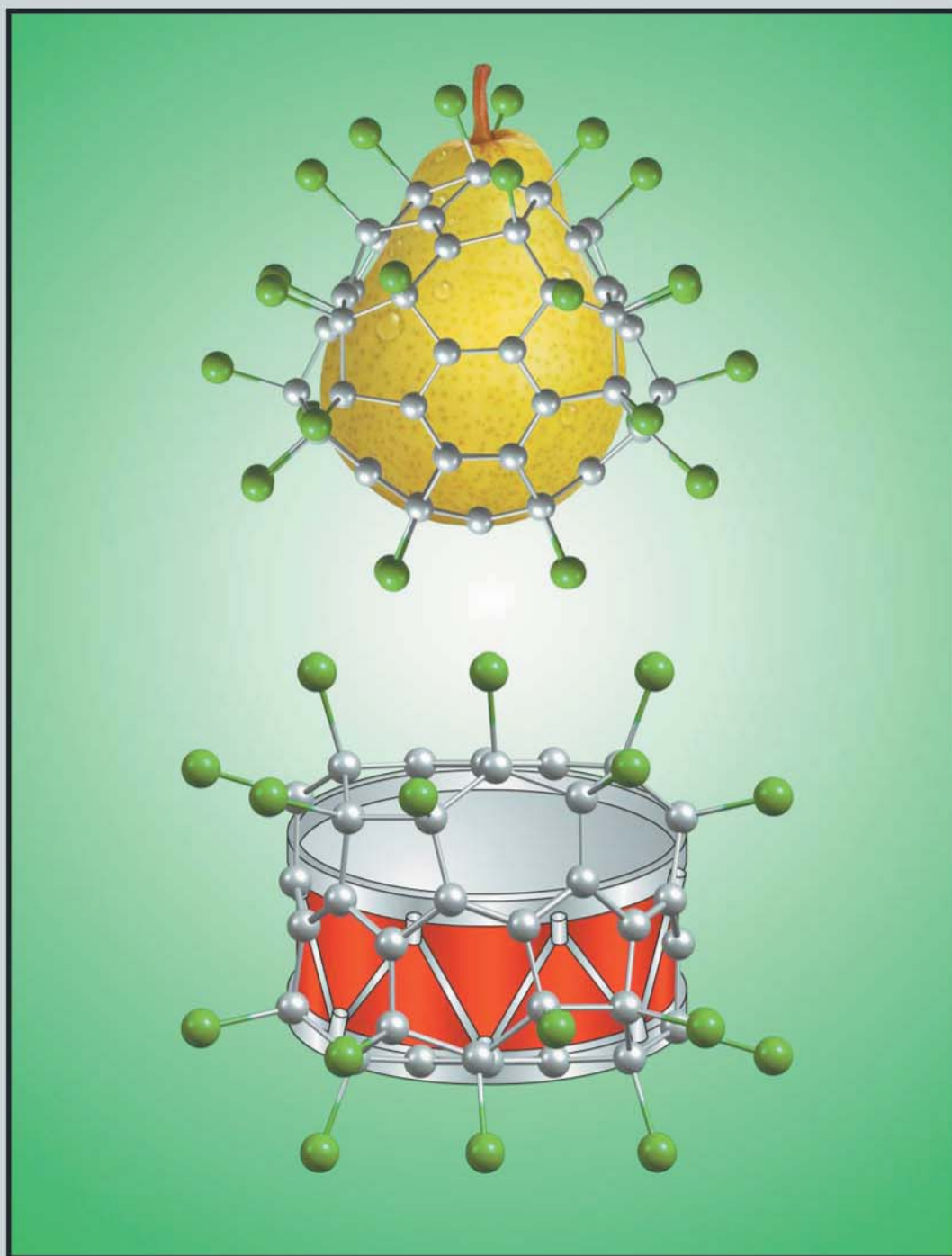


ПРИРОДА

9 11



В НОМЕРЕ:**3** **Гиляров А.М.****Неотвратимые угрозы биологическому разнообразию**

Согласно последним оценкам, состояние флоры и фауны в мире далеко не утешительное. Видимо, сегодня обществу должно решить — нужно ли ему существующее биологическое разнообразие, а если нужно, то готово ли оно принять срочные и жесткие меры для его сохранения.

13 **Волокитин А.И.****Квантовое трение и графен**

О том, существует ли квантовое трение, теоретики спорят уже не первый десяток лет — ведь экспериментальных доказательств реальности этого явления пока нет. Ситуация должна проясниться благодаря новому материалу — графену.

22 **Сидоров Л.Н., Троянов С.И.****На пороге новой химии фуллеренов**

Среди фуллеренов, со времени открытия которых прошло 25 лет, есть молекулы не только с изолированными пятиугольниками в сфероидальном каркасе, но и со смежными. Такие фуллерены (а число их огромно), труднодоступные из-за химической активности, представляют собой новый и на редкость интересный объект исследования.

31 **Чернов Ю.И., Матвеева Н.В., Макарова О.Л.****Полярные пустыни: на пределе жизни**

Полярные пустыни — единственная на Земле природная зона, где богатые видами группы организмов верхнего филогенетического уровня уступают место более примитивным, но способным преодолеть суровые физические условия среды.

44 **Джамалов Р.Г., Хасиев Р.С.****Современная водная дипломатия**

Уже в середине XXI в. человечество столкнется с проблемой дефицита пресной воды, которая может стать причиной межгосударственных конфликтов. Урегулировать их помогут новые дипломатические инициативы по поиску справедливых и научно-обоснованных правил водопотребления и вододелиения.

52 **Краснова Е.Д.****Шелк беспозвоночных**

Шелк, производимый самыми разными насекомыми, не единственный продукт, издавна используемый человеком. Сегодня известно, что многие представители различных классов беспозвоночных способны синтезировать уникальные клейкие белки, которые могут найти самое широкое применение.

61 **Свердлов Л.М.****Кругосветные плавания вольного шкипера Августа Риделя**

Капитаны парусных кораблей, совершившие в XIX в. несколько кругосветных плаваний, встречаются в истории не часто. К таким уникальным мореплавателям относится подданный Российской Империи, уроженец Финляндии, Август Вильгельм Ридель. К сожалению, сегодня он совершенно забыт, и даже в специальной литературе его имя встречается крайне редко.

Научные сообщения**68** **Келлер Н.Б., Оськина Н.С.****Глубоководная фауна кораллов — молодая или древняя?****О чем писала «Природа»****73****По поводу 350-летия русской химии (1581–1931)****76****Новости науки**

Массивные черные дыры часто встречались в ранней Вселенной (76). Границы устойчивости графена при деформации в плоскости (76). Композит с графеновой пенной (76). Золотые клетки (77). Удивительная пизаура. Михайлов К.Г. (77). Насекомые в экстремальных условиях. Булахова Н.А. (79). Усиление переноса тепла в Арктический бассейн водами Атлантического океана (79). Глобальные тренды скорости ветра и высоты волн (81).

Рецензии**82** **Гопко М.В.****Заново открывая биологию**

(на кн.: Р.Докинз. Расширенный фенотип: длинная рука гена)

86**Новые книги****87** **Горшков С.П.****Вверх по Енисею****Встречи с забытым**

CONTENTS:

3 Ghilyarov A.M. Inescapable Threats to Biological Diversity

According to recent estimates, the state of flora and fauna in the world is far from comforting. Apparently, society must decide today — does it need biological diversity, and if it does, is it ready to take immediate and drastic measures to save it.

13 Volokitin A.I. Quantum Drag and Graphene

Existence of quantum drag has been a subject of theoretical debates for many decades, since until now no experimental proof of reality of this phenomenon was available. This situation is expected to clarify due to a new material — graphene.

22 Sidorov L.N., Troyanov S.I. At the Dawn of a New Chemistry of Fullerenes

Among fullerenes, that were discovered 25 years ago, there are molecules not only with isolated pentagons in spheroidal skeleton, but also with adjacent ones. Such fullerenes (and their number is huge), which are difficult to obtain due their chemical activity, are the new and very interesting objects of research.

31 Chernov Yu.I., Matveeva N.V., Makarova O.L. Polar Deserts: At the Limit of Life

Polar deserts comprise the only areas of the Earth where species-rich groups of organisms of the upper phylogenetic level give way to a more primitive organisms, which are able to overcome the harsh physical conditions.

44 Dzhamalov R.G., Hasiev R.S. Modern Water Diplomacy

As early as in the middle of the twenty-first century humankind will face water shortages, which could cause international conflicts. To settle them, new diplomatic initiatives to find fair and science-based regulations of water use and water allocation will be helpful.

52 Krasnova E.D. Silks of Invertebrates

Silk produced by a variety of insects is not the only product that has long been used by man. Today we know that many representatives of different classes of invertebrates are able to synthesize unique adhesive proteins, which can find the widest application.

61 Sverdlov L.M. Round the World Voyages of Free Skipper August Riedel

Skippers of sailing ships who made in 19 century several round the world voyages are rare in history. To these unique mariners belongs a subject of the Russian Empire, a native of Finland, August Wilhelm Riedel. Unfortunately, today he is completely forgotten, and even in special literature his name occurs extremely rare.

Scientific Communications

68 Keller N.B., Oskina N.S. Deep Sea Coral Fauna – Young or Old?

What «Priroda» Wrote About

73 Regarding 350th Anniversary of Russian Chemistry (1681–1931)

76 Science News

Massive Black Holes Were Abundant in Early Universe (76). Stability Boundaries of Graphene under Deformation in the Plane (76). Composite Foam with Graphene (76). Golden Cells (77). Amazing Pisaura. Mikhailov K.G. (77). Insects in Extreme Conditions. Bulakhova N.A. (79). Enhancing the Transfer of Heat into the Arctic Basin by Waters of the Atlantic Ocean (79). Global Trends in Wind Speed and Wave Height (81).

Book Reviews

82 Gopko M.V. Discovering Biology Anew (on book: R.Dawkins. The Extended Phenotype: The Long Reach of the Gene)

86 New Books

Encounters with Forgotten

87 Gorshkov S.P. Up on Yenisei

Неотвратимые угрозы биологическому разнообразию

А.М.Гиляров

В Пинакотеке Ватикана есть картина, около которой невольно задерживается каждый, кто неравнодушен к миру живой природы. Сюжет этого полотна кисти Венчеслао Петера, богемского художника второй половины XVIII в., достаточно традиционен: «Адам и Ева в земном раю». Самое примечательное в картине — не столько главные герои, Адам и Ева, сколько живописный райский ландшафт с множеством вписанных в него птиц, зверей и других животных (рис.1). Все они изображены с зоологической точностью и легко узнаваемы. В общей сложности на картине можно насчитать около сотни видов животных и более десятка видов растений. Представление о земном рае как о мире, населенном множеством *разных* растений и животных, видимо, не случайно. И дело не только в канонических библейских мифах, но и в том, что само по себе разнообразие мира живой природы воспринималось человеком XVIII в. как некое благо, нечто заслуживающее любования и восхищения.

Увы, в последнее время выражение «биологическое разнообразие» («биоразнообразие») все чаще фигурирует в тревожных сообщениях о том, как дикая природа отступает под напором человека и как все большее число животных оказывается на грани вымирания. Состояние



Алексей Меркурьевич Гиляров, доктор биологических наук, профессор кафедры общей экологии биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова, член редколлегии журнала «Природа». Область научных интересов — изучение экологии планктона, биоразнообразия, а также история и методология науки.

природных экосистем, прежде всего в тропических областях, где особенно велико разнообразие фауны и флоры, продолжает стремительно ухудшаться.

По-прежнему высоки, хотя и несколько снизились за последнее десятилетие, темпы вырубki лесов. Растет степень фрагментации природных ландшафтов — разделения их на отдельные части (типичный пример — разрезание автотрассой цельного массива леса). Продолжается прямое истребление многих животных в результате браконьерской и легальной охоты. Глобальное потепление резко ухудшает условия обитателей высоких широт, прежде всего тех, что связаны с ледовым покровом Северного Ледовитого океана.

И научное сообщество, и природоохранные организации давно уже бьют тревогу. «Конвенция о биологическом разнообразии», представленная в 1992 г. на саммите в Рио-де-Жанейро, сегодня подписана полномочными представителями 168 стран [1]. Прошедший 2010 г. решением ООН был объявлен Всемирным годом биоразнообразия, к которому предполагалось достичь неких успехов в его сохранении. В конце 2010 г. и в начале 2011-го в ведущих научных журналах стали появляться статьи, суммирующие оценки состояния биоразнообразия в масштабах всей планеты. Увы, итоги оказались не обнадеживающими, а рекомендации относительно действий, способных изменить ситуацию, столь расплывчаты, что уповать на их выполнение не приходится.

Очевидно, общество должно решить для себя — *нужно ли ему существующее в природе разнообразие животных и растений*, а если нужно, то готово ли оно срочно принять жесткие и дорогостоящие меры по его охране. Мякими и малозатратными они не могут



Рис.1. «Адам и Ева в земном раю» кисти богемского художника Венчеслао Петера. Традиционный для европейской живописи образ «земного рая» соответствует установкам естественной истории — описанию разнообразия фауны и флоры. С открытки, изданной музеями Ватикана

быть по определению — ведь речь идет об ограничении хозяйственной деятельности человека, о запрете на использование тех земель, где еще обитают дикие животные и растения, о создании коридоров, мостов и убежищ для облегчения миграции животных и их сохранения в условиях быстро меняющейся среды.

В этих заметках я хотел бы, во-первых, привлечь внимание читателей к нескольким хорошо документированным свидетельствам глобальных угроз биоразнообразию, а во-вторых, задаться вопросом, насколько правомерен тот утилитарный подход к оценке пользы биоразнообразия, на который мы опираемся, обосновывая те или иные природоохранные меры.

Тревожные перемещения в Красной книге

Когда мы говорим о биоразнообразии, то подразумеваем прежде всего число видов организмов (той или иной группы), обитающих на определенной территории. Виды, которым реально угрожает или может угрожать скорое вымирание, заносят в специальные списки — так называемые

«Красные книги». Наряду с региональными книгами (есть, к примеру, Красная книга России, и даже Красная книга Москвы) существует и Красная книга Международного союза охраны природы (International Union for Conservation of Nature, IUCN) — наиболее авторитетное издание, отражающее ситуацию во всем мире [2].

Конечно, красные книги охватывают только малую часть всего разнообразия фауны и флоры. Так, в 2010 г. в Красной книге IUCN было упомянуто 55 926 видов животных, растений и грибов, тогда как приведенное там же общее число описанных видов — 1 727 708. В другой публикации число известных науке видов на 2009 г. указывается как 1 899 587. Такие различия понятны — исследователи все время продолжают описывать новые виды, прежде всего беспозвоночных, а сводки всегда отстают от оригинальных публикаций в специализированных журналах. Так или иначе, в Красную книгу попадает только 2–3% видов от их общего числа. А что с остальными, не включенными в Красную книгу? Ведь их подавляющее большинство!

Здесь надо пояснить, что более 70% всех известных науке видов — это беспозвоночные (в пер-

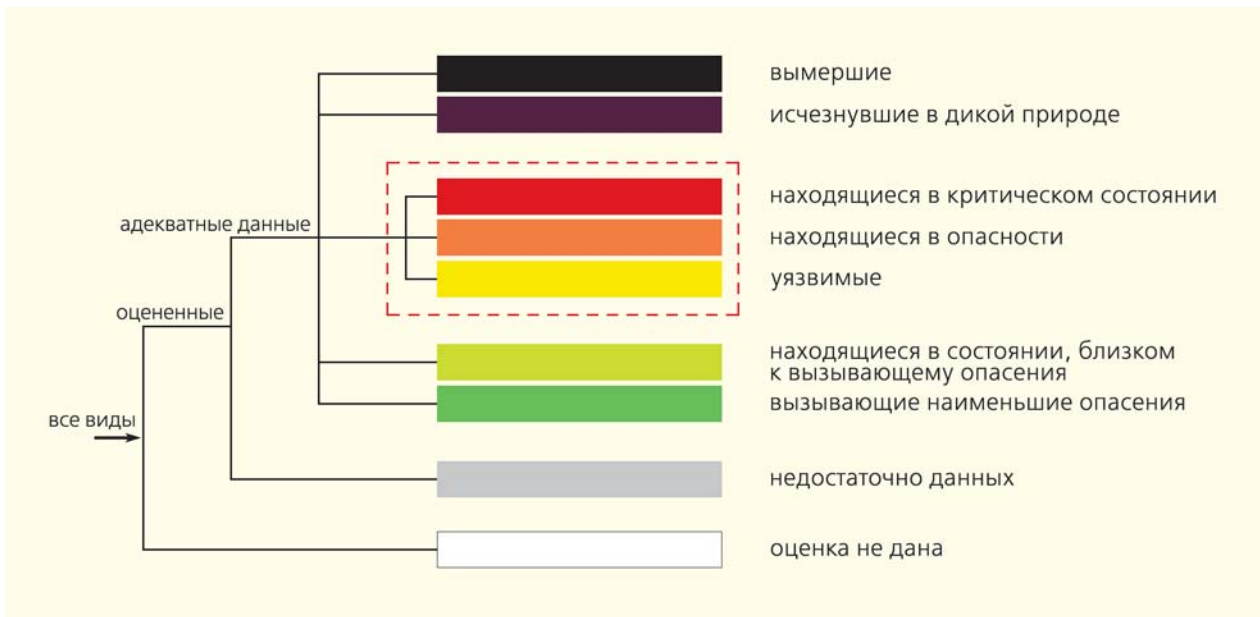


Рис.2. Схема категорий видов, включенных в Красную книгу IUCN. Все виды подразделяются на тех, оценка состояния которых не дана, и тех, для которых есть более или менее адекватные данные. Виды, находящиеся под угрозой исчезновения, выделены штрихом. Риск вымирания видов возрастает снизу вверх [2].

вую очередь насекомые и другие членистоногие), а в Красной книге IUCN их только 7.5 тыс., в четыре раза меньше, чем позвоночных. Такая диспропорция неудивительна: позвоночные, особенно крупные млекопитающие и птицы, гораздо лучше изучены и более известны широкой публике, чем мелкие беспозвоночные. Кроме того, охрана крупных животных счастливым образом оборачивается охраной множества мелких, обитающих в тех же местах. Это и есть так называемый «зонтичный эффект», особенно хорошо выраженный в случае крупных хищников.

Сказать что-либо определенное о состоянии популяций подавляющего большинства видов мы просто не можем, для этого нет необходимых данных. Но, поскольку множество насекомых и других членистоногих (а именно они дают наибольшее разнообразие) обитает в тропических лесах, площадь которых неизменно сокращается, очевидно, что ежегодно с лица земли исчезают и многие беспозвоночные. При этом значительная их часть относится к видам, которые так и не были описаны учеными*. Недостаток сведений о состоянии популяций касается не только беспозвоночных. Так, общее число известных видов рыб около 31 800, но в Красной книге IUCN их упомянуто только 8848.

* Две модели, построенные на разных предположениях (Hamilton, Basset, Benke et al. // American Naturalist. 2010. V.176. P.90–95), дают наиболее вероятную оценку суммарного числа видов членистоногих в 3.7 и 2.5 млн. Если полагаться на средние величины, то можно сказать, что примерно 70% существующих сейчас видов членистоногих еще не описаны.

Каждому виду, включенному в Красную книгу IUCN, присваивается определенный статус, отражающий степень угрозы его вымирания (рис.2). Различают виды: «вызывающие наименьшие опасения»; «находящиеся в состоянии, близком к вызывающему опасения»; «уязвимые»; «находящиеся в опасности»; «находящиеся в критическом состоянии»; «исчезнувшие в дикой природе» (как, например, лошадь Пржевальского); «вымершие» (исчезнувшие в историческое время). Есть и категория таких, для которых просто недостаточно данных, чтобы адекватно оценить состояние их популяций.

Красная книга не есть нечто застывшее. Специалисты то и дело вносят в нее разные изменения. И это не только включение новых видов или возможное изъятие присутствующих, но и пересмотр их статуса, который может измениться как в лучшую сторону, так и в худшую. Поскольку Красная книга IUCN существует уже более 30 лет, подобные изменения сами по себе представляют важный источник информации. В частности, они послужили основанием для оценки состояния краснокнижных видов наземных позвоночных, осуществленной большим коллективом авторов из разных стран, в том числе и из России [3]. Из охваченных в данной работе 25 780 видов примерно 1/5 находится под угрозой вымирания, и для них за 30 лет было отмечено 928 случаев смены статуса в Красной книге. В 68 случаях этот статус улучшился (в основном благодаря мерам по охране данных видов), а в 860 (т.е. в 93% случаев) ухудшился: виды еще больше приблизились к границе вымирания.

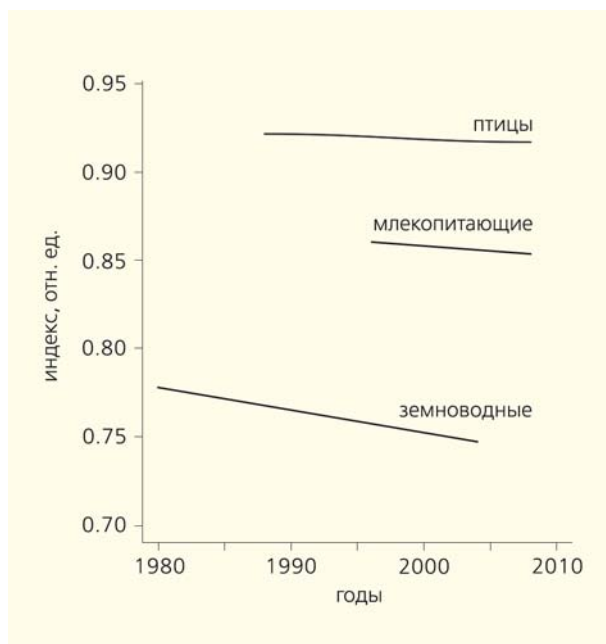


Рис.3. Тенденции изменения среднего индекса положения видов в Красной книге для земноводных, млекопитающих и птиц. Если индекс равен единице, состояние видов не вызывает опасения, если нулю — все виды вымерли. По мере того как все больше видов переходят в категорию «уязвимых» и далее, значение индекса снижается. Наклон линий свидетельствует, что во всех группах растет угроза вымирания [3].

Чтобы охарактеризовать ситуацию в среднем в какой либо группе животных, авторы обсуждаемой работы предложили специальный «индекс положения группы в Красной книге». За время существования Красной книги IUCN во всех изученных группах этот индекс снизился, т.е. возросла угроза вымирания (рис.3). В среднем с 1980 по 2008 г. примерно по 52 вида наземных позвоночных ежегодно перемещались на одну категорию ближе к вымиранию. Наиболее тревожная ситуация с земноводными: из 6771 известных видов в Красную книгу IUCN включен 41%, и скорость изменения статуса в сторону вымирания среди них — самая высокая. Начиная с 1980 г. исчезли девять видов земноводных, в том числе золотая жаба (*Incillus periglenes*), обитавшая во влажных горных лесах Коста-Рики. Еще 65 видов земноводных считаются «вероятно вымершими». Помимо уничтожения местообитаний (это одна из основных причин вымирания видов во всех группах животных) в тропических и субтропических районах Америки и Австралии земноводные очень страдают из-за хитриодиомикоза — заболевания, вызванного паразитическим грибом *Batrachochytrium dendrobatidis*.

Наиболее благополучная (хотя тоже тревожная) ситуация с птицами. Из известных 9895 видов в Красную книгу включены 13%, но и здесь средний статус краснокнижных видов меняется

в сторону вымирания. Между 1988 и 2008 гг. с лица Земли исчезли два вида птиц — дрозд камао (*Myadestes myadestinus*) с о.Кауаи (Гавайские о-ва) и алаотранская поганка (*Tachybaptus rufolavatus*), встречавшаяся ранее на оз.Алаотра (Мадагаскар). Еще шесть видов птиц числятся как «скорее всего вымершие». Млекопитающих, исчезнувших с 1996 по 2008 г., пока официально не отмечено, хотя почти наверняка пресноводного дельфина байцзи (*Lipotes vexillifer*), жившего в р.Янцзы в Китае, следует считать вымершим.

Глобальное потепление и белые медведи

Хотя в средствах массовой информации идут нескончаемые споры о глобальном потеплении, в его реальности никто из специалистов не сомневается. Разногласия касаются только того, сколь велик вклад в этот процесс хозяйственной деятельности человека. В результате сжигания ископаемого топлива и сведения лесов в атмосферу сейчас ежегодно выбрасывается около 9 млрд т углерода (прежде всего в виде CO₂). Примерно половина этого количества связывается океаном и экосистемами суши, а половина остается в атмосфере. Рост содержания CO₂, основного парникового газа, приводит к увеличению температуры воздуха у поверхности земли, а более высокая температура стимулирует более интенсивное дыхание биоты, т.е. дополнительное поступление CO₂ в атмосферу.

С конца XIX по начало XXI в. приземная температура в среднем для земного шара возросла на 0.8°C, причем с 1990 по 2006 г. — на 0.33° [4]. Вследствие теплового расширения поверхностных слоев водной толщи довольно быстро растет уровень Мирового океана — в последние годы со скоростью 3.3±0.4 мм/год. Кроме того, тают ледники Гренландии — факт, надежно фиксируемый системой двух спутников GRACE, оценивающих массу льда по гравитационному эффекту [5].

Одно из наиболее заметных проявлений глобального потепления — уменьшение площади ледового покрова Северного Ледовитого океана. К концу лета — началу осени все большая часть акватории океана оказывается непокрытой льдом. Это удобно для навигации, но чревато для животных, существование которых целиком зависит от ледового покрова, в первую очередь для размножающихся там тюленей и, конечно, их постоянных преследователей — белых медведей.

Хотя полярный медведь — самый крупный и мощный представитель отряда хищных, он, как и все виды с узкой экологической нишей, очень чувствителен к изменениям окружающей среды. Его единственно возможное местообитание — ледовый покров Северного Ледовитого океана; только со льда медведь способен добывать свою основную пищу — тюленей, к которым или подкрадывается, когда те отдыхают на льду, или подкараулива-

ет их у дыхательной лунки. Поскольку детенышей медведица производит на свет в берлоге на твердой земле, ей потом вместе с медвежатами придется дожидаться становления ледового покрова, по которому можно будет уйти далеко от берега, чтобы добыть пищу. В течение последних двух десятилетий ледостав сдвигается на все более поздние сроки, и находящиеся на берегу медведи испытывают сильный голод и общее истощение.

Иногда, не дождавшись ледостава, медведь начинает плыть от берега, стремясь достичь кромки льда. Подобный случай документировали в 2008 г. благодаря тому, что на медведице, пустившейся с материка вплавь в море Бофорта, был ошейник с датчиком GPS [6]. Проплыв за 9,5 сут 687 км в воде, температура которой была 2–6°C, медведица достигала сплошного ледового покрова. При этом она потеряла не только 20% веса, но и своего годовалого медвежонка (скорее всего, он утонул, хотя не исключено, что погиб еще на суше). Очевидно, подобные марафонские заплывы не спасут медведей от глобального потепления. В принципе медведица может произвести потомство и на льду (такие случаи известны), но это тоже никак не может стать панацеей, поскольку ледовый покров должен достаточно долго держаться не в центре океана, а в шельфовых районах, где есть рыба и питающиеся ею тюлени. Планирующееся сейчас освоение недр шельфовых районов Арктики чревато дополнительными угрозами для жизни белого медведя.

Группа американских исследователей рассмотрела будущее белого медведя в свете прогнозов состояния ледового покрова над шельфовыми районами Северного Ледовитого океана при различных сценариях экономического развития [7]. Прогноз в целом очень неутешительный, хотя ограничение эмиссии парниковых газов и приостановка роста глобального потепления оставляют надежды на выживание белого медведя. В настоящее время его общая численность оценивается примерно в 20 тыс. особей, что в сравнении с тигром (3–5 тыс. особей) вроде бы и не так плохо. Однако не следует забывать, что размножаются белые медведи очень медленно и поэтому восстановление их популяции в случае хоть раз произошедшего сильного снижения численности крайне затруднено.

Отрицательные последствия потепления для перелетных птиц

От глобального потепления страдают не только белые медведи и тюлени, неблагоприятно оно и для ряда перелетных птиц, гнездящихся на севере Европы. Из-за повышенных средних температур во второй половине зимы и весной «биологическая весна» в умеренных и северных широтах теперь наступает раньше. Начало цветения растений, распускание листьев определенных видов деревьев, выход из зимней диапаузы насекомых —

все эти и другие аналогичные сезонные явления сместились на более раннее время. В Западной Европе, для которой есть долговременные ряды фенологических наблюдений, «биологическая весна» за последние 50 лет сдвинулась примерно на две недели раньше.

Впрочем, многие организмы к более раннему наступлению весны вполне успешно приспособились. Так, большие синицы (*Parus major*), которых в окрестностях Оксфорда детально изучают уже почти 50 лет, приступают к размножению теперь на 14 дней раньше [8]. Некоторые славки-черноголовки (*Sylvia atricapilla*), гнездящиеся в Центральной Европе (юг Германии и Австрия) и зимовавшие на Пиренейском п-ове и на севере Африки, начали летать на Британские о-ва, где благодаря потеплению могут комфортно проводить зиму. Поскольку до нового места зимовки лететь меньше, то и возвращаются птицы раньше. Вернувшись же, они занимают для гнездования лучшие места и, по сути, начинают образовывать новую популяцию (ведь скрещиваются они преимущественно между собой), которая сможет генетически обособиться от родительской, члены которой по-прежнему проводят зиму на Пиренейском п-ове [9].

Однако дальние мигранты, улетающие из Европы на зимовку в Африку южнее Сахары, испытывают неблагоприятные последствия десинхронизации своего внутреннего физиологического ритма с сезонными процессами в местах их гнездования. Так, в Нидерландах из-за раннего наступления весны резко сократилась численность мухоловки-пеструшки (*Ficedula hypoleuca*), до недавнего времени бывшей там массовым видом [10]. Дело в том, что зимуют мухоловки в сухих лесах Западной Африки (примерно на широте 10° с.ш.), а сроки их отлета на родину, определяемые генетически закрепленной реакцией на изменение длины светового дня, не изменились. Возвратившись же в места гнездования, птицы застают там совсем не то состояние природы. Фенологическая весна уже ушла на две недели вперед. Мухоловки быстрее, чем раньше, образуют пары и занимают места, подходящие для устройства гнезд (в Голландии это почти исключительно развешенные человеком дуплянки), и откладывают яйца. Но ведь нужно еще время на их высидывание (12–14 дней), а когда наступает пора кормить вылупившихся птенцов, оказывается, что уже прошел пик численности их основного корма — зеленых гусениц (личинок бабочек пядениц, питающихся молодой листвой деревьев). Конечно, в отдельные годы в силу погодных условий «биологическая весна» может несколько приподнять, и тогда мухоловки еще успевают застать обилие корма, но, как правило, они не успевают за произошедшим сдвигом.

Располагая данными по гнездованию мухоловок и состоянию их кормовой базы за ряд лет, исследователи смогли выявить четкую корреляцию

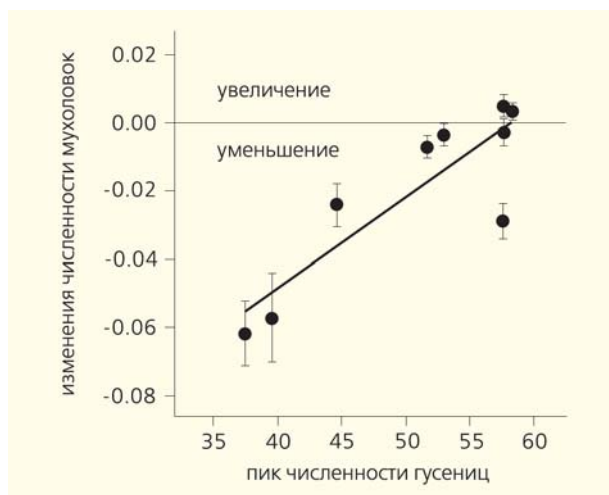


Рис.4. Скорость изменения численности популяции мухоловки-пеструшки за год в зависимости от численности гусениц — основного корма для птенцов. Дата пика гусениц выражена в числе дней после 31 марта. Скорость роста популяции, равная нулю, — отсутствие изменений численности; меньше нуля — ее сокращение, больше нуля — ее рост. Чем позже пик гусениц, тем меньше снижается численность популяции мухоловок. При самом позднем наступлении пика гусениц популяция даже увеличивала свою численность [10].

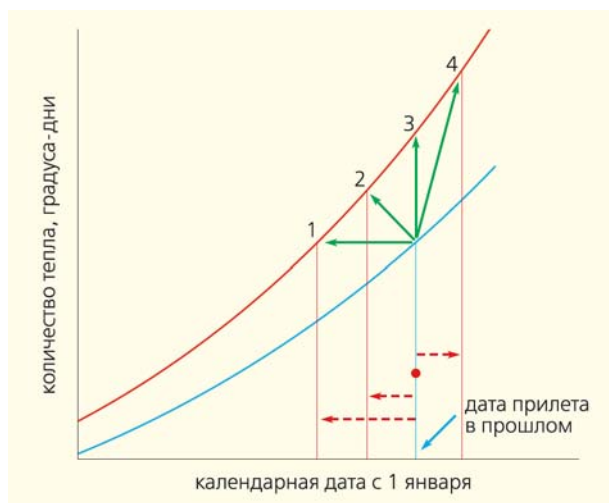


Рис.5. Схема, показывающая, как растет количество тепла, получаемого в определенном месте в конце зимы — весной, в зависимости от календарной даты, и как в связи с потеплением может сдвигаться дата прилета птиц [11]. Синяя кривая соответствует ситуации в прошлом, красная — в настоящем. Общее потепление отражено тем, что красная кривая располагается выше синей и круче загибается вверх. Вертикальные линии соответствуют разным возможным датам прилета птиц. Синяя вертикаль соответствует старой дате прилета (показана синей стрелкой). Стрелки указывают на сдвиг даты прилета птиц: 1 — полная компенсация кормовых потерь, 2 — частичная, 3 — потери кормовых возможностей, 4 — крайне неблагоприятный вариант.

между изменением численности птиц и пиком «зеленых гусениц»: чем раньше он наблюдается, тем сильнее снижается численность мухоловок (рис.4). Скорее всего, естественный отбор пытается сдвинуть сроки начала миграции с мест зимовки на более раннее время, но он явно не успевает за переменами в окружающей среде. Следует также иметь в виду, что сезонные изменения длины светового дня в низких широтах крайне малы и «коррекция» биологических часов может протекать труднее, чем в более высоких широтах.

Наступающая раньше времени весна отражается на жизни многих других перелетных птиц. Группа орнитологов из разных стран, используя данные многолетних (30—50 лет) наблюдений* за прилетом более сотни видов птиц на север Европы, установила, что почти у всех у них дата прилета сдвинулась на более раннее время [11]. Причем для «ближних мигрантов», остающихся зимой в пределах Европы или самого севера Африки, этот сдвиг существеннее, чем для «дальних», летящих на зимовку в более низкие широты. Но достаточно ли этого сдвига, чтобы компенсировать ранний приход весны в местах их гнездования? Поскольку более раннее развитие растительности и насекомых определяется повышенной температурой в конце зимы — начале весны, количественно охарактеризовать фенологический сдвиг можно, используя такой показатель, как общее количество тепла, полученное какой-то конкретной местностью за определенный период. Для каждой их четырех точек наблюдений* по данным метеостанций рассчитывали сумму градусо-дней, накопившуюся с 1 января до средней даты прилета того или иного вида птиц. Если в ответ на более раннее наступление «биологической весны» птицы прилетают раньше, то в идеале этот сдвиг должен быть таким, чтобы сумма градусо-дней к новой дате прилета оставалась той же самой.

Суть подхода показана на схеме (рис.5). Поскольку развитие беспозвоночных, служащих кормом для птенцов, происходит в соответствии с количеством полученного тепла, оптимальное смещение даты прилета произойдет, когда в данном месте будет такое же количество тепла, как и в прошлом. В этом случае достигается полная компенсация возможности использования кормовой базы. Такая возможность была бы утеряна, если бы календарная дата прилета оставалась той же. Но смещение даты прилета на более ранний срок может быть и частичным: тогда достигается неполная компенсация. Если дата прилета не меняется, потери неиспользованных кормовых возможностей весьма значительны. Не исключен и вариант смещения новой даты на более позднее время. Это крайне неблагоприятный вариант.

* Исходные данные получены на нескольких станциях кольцевания: на о.Гельголанд в Северном море и в трех точках побережья южной части Балтийского моря, в том числе в пос.Рыбачий на Куршской косе (Калининградская обл., Россия).

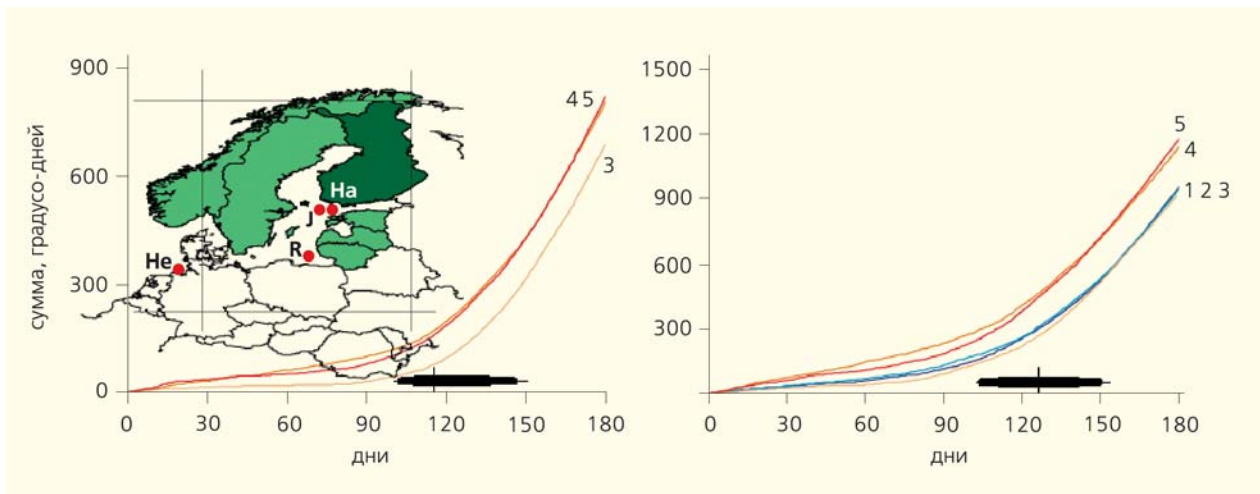


Рис.6. Графики накопления тепла (сумма градусо-дней) начиная с 1 января на мысу Ханко, на юге Финляндии (вверху), и в пос. Рыбачий, Куршская коса, Россия (внизу). Цифрами помечены кривые, относящиеся к разным периодам наблюдений: 1 — 1959—1968; 2 — 1969—1978; 3 — 1979—1988; 4 — 1989—1999; 5 — 1999—2009. Кривые за последние 20 лет идут выше, чем за предыдущие десятилетия, что свидетельствует о потеплении. Черная гистограмма внизу каждого графика — распределение средних дат прилета для всех изученных птиц. На карте показано местоположение четырех станций кольцевания, где фиксировали дату прилета. He — о. Гельголанд; R — пос.Рыбачий; J — о. Юрмо; Ha — мыс Ханко. Зеленым выделены страны, в которых оценивали изменение численности птиц. Данные по Финляндии (темно-зеленым) рассматривали отдельно [11].

Результаты исследования показали, что во всех четырех точках, где фиксировали дату прилета, весна наступала раньше. По усредненным данным за 1989—2009 гг. для 30 апреля, вокруг которой группируется прилет многих птиц), сумма градусо-дней была на 58% больше, чем в предыдущие 30 лет. Что же касается средней даты прилета, то она хоть и сместилась на более раннее время, но недостаточно для полной компенсации сдвига (рис.6).

Проанализировав имеющиеся многолетние данные по состоянию популяций разных видов птиц в странах Северной Европы, авторы установили, что запаздывание прилета сказывается на динамике их численности: чем больше запаздывание (выраженное через сумму градусо-дней), тем значительнее снижение численности. Таким образом, происходящее быстрое потепление представляет реальную угрозу для многих перелетных птиц. Эволюция их жизненного цикла и физиологических реакций, запускающих механизм начала миграции с мест зимовки, не поспевает за изменениями климата.

Неожиданная угроза со стороны биотоплива

За последнее время значительно возросла популярность биотоплива — в первую очередь, это результат высоких цен на нефть. Кроме того, переход на биотопливо справедливо рассматривают как часть стратегии, направленной на снижение

выбросов в атмосферу углекислого газа и, соответственно, на замедление глобального потепления. Ведь CO₂, образующийся при сжигании биотоплива, относительно недавно был изъят из атмосферы растениями, выращиваемыми в качестве сырья для его получения. Производство и последующее использование биотоплива называют еще углерод-нейтральной технологией: при этом не увеличивается, но и не уменьшается количество CO₂, уже присутствующего в атмосфере. Казалось бы, с точки зрения глобальной экологии переход на биотопливо надо только приветствовать. Но дьявол, как известно, таится в деталях. А их анализ показывает, что, во-первых, использование биотоплива пока еще не есть углерод-нейтральная технология; во-вторых, крупномасштабное производство биотоплива в тропиках представляет серьезнейшую угрозу биоразнообразию.

В «экологической стоимости» биотоплива можно выделить два компонента. Первый касается потерь углерода, содержавшегося в виде органического вещества в тех природных экосистемах, которые существовали ранее на месте плантаций биотопливных культур, а также углерода, истраченного в процессе получения биотоплива. Количественно этот компонент характеризовали величиной «углеродного долга» [12] — суммарным количеством CO₂, которое должно выделиться за 50 лет с территории, превращенной в плантацию биотопливной культуры. Срок в 50 лет взят как достаточный для разложения большей части органического вещества, сохранившегося в почве от ранее существовавших там экосистем.

Зная скорость, с которой углеродный долг погашается фотосинтезом культур, выращиваемых на биотопливо, можно рассчитать срок, в течение которого долг будет полностью погашен. В случае дождевых тропических лесов, превращенных в биотопливные плантации, это время измеряется несколькими столетиями, в случае прерий — сотней лет, а в случае южноамериканских саванн — 20—30 годами. Соответственно, на протяжении этого времени биотопливо, полученное с преобразованных земель, не будет давать никакой экономии по части CO₂ в сравнении с обычным ископаемым топливом.

Второй компонент «экологической стоимости» биотоплива нельзя выразить ни в углероде, ни в деньгах, но именно он определяет основной ущерб, наносимый биоразнообразию. Речь идет об уничтожении природных экосистем на территориях, превращаемых в плантации биотопливных культур. Самая тревожная ситуация в странах тропического и субтропического пояса, где на единицу площади приходится максимальное число видов растений и животных, причем, как правило, с маленьким ареалом распространения. При расчистке территории под плантации масляной пальмы вырубаются девственные тропические леса в Индонезии и Малайзии.

На островах Борнео и Суматра эти леса служат местом обитания последних живущих на воле орангутанов, не говоря о множестве других самых разных животных. Изображение орангутана все чаще используется в странах Юго-Восточной Азии как символ борьбы с биотопливом, поскольку расширение территорий, отводимых под соответствующие культуры, чревато скорым исчезновением этого вида (прежде всего суматранского подвида) с лица земли. Подобным образом в Южной Америке символом противостояния производству биотоплива становится ягуар, места обитания которого также стремительно сокращаются из-за увеличения площади плантаций биотопливных культур.

Не следует воспринимать сказанное выше как призыв к отказу от биотоплива. Оно, в отличие от ископаемого, — возобновляемый ресурс, а будущее именно за такими ресурсами. Но производство его должно находиться под строгим международным контролем. Сейчас бедные страны тропических и субтропических широт рассматривают развитие биотопливной индустрии как способ получения хотя бы минимальной энергетической независимости от более богатых стран. Кроме того, это создание новых рабочих мест, в которых население очень нуждается. Противостоять в сложившейся ситуации расширению площадей, отводимых для производства биотоплива, крайне сложно. В принципе надо сделать так, чтобы сохранение тропических лесов было выгодно жителям тех стран, на территории которых эти леса находятся. Вопрос в том, каким образом этого реально можно достичь.

Можем ли мы сохранить разнообразие организмов на нашей планете?

Экологи все чаще говорят, что темпы и масштабы наблюдающегося сейчас снижения биологического разнообразия сопоставимы с теми, что сопровождали крупнейшие массовые вымирания прошлых геологических эпох [13]. Таких вымираний известно пять: первое, относящееся к ордовики, закончилось 443 млн лет назад; последнее, имевшее место уже в меловом периоде, — примерно 65 млн лет назад. По оценкам специалистов, тогда в течение 2.5 млн лет вымерли примерно 40% всех родов и 75% видов. Конечно, нужно сразу оговориться, что оценки эти весьма условны. И тем не менее они дают представление о масштабах явления.

Все пять прошлых массовых вымираний произошли вследствие природных катаклизмов, крупномасштабных геологических и климатических изменений, крайне неблагоприятных и просто губительных для организмов. Но рано или поздно эти катаклизмы заканчивались, и тогда начиналось заселение организмами нарушенных местообитаний и освоение ими свободных биотопов. Видам было куда расселяться, где жить и эволюционировать.

Современная ситуация принципиально иная. Очевидно, что причины нынешнего вымирания организмов связаны с необычайным эволюционным успехом только одного вида — *Homo sapiens*. Численность его не соответствует той, которую следовало бы ожидать для млекопитающего такого размера и с такими характеристиками жизненного цикла (позднее достижение половозрелости, низкая плодовитость, и т.п.). Однако благодаря своей необычайной конкурентоспособности (определяемой, видимо, далеко зашедшим развитием мозга) человек обогнал не только всех приматов, но и всех других млекопитающих.

Преобразование природы, а попросту говоря — уничтожение естественных сообществ растений и животных для того, чтобы культивировать на освобожденных территориях крайне небольшое число видов (в каждом конкретном месте — монокультуру), и есть основная причина кризиса биоразнообразия. Даже если вдруг будут приняты самые решительные и незамедлительные меры по охране всех находящихся под угрозой видов, окажется, что восстанавливающимся популяциям некуда будет расселяться. Одна из книг Б.Гржимека, изданная в оригинале еще в 1954 г. (русский перевод 1978 г.), называлась очень точно: «Для диких животных места нет». С тех пор прошло почти 60 лет. Места для диких животных стало еще меньше.

Невольно возникает вопрос — что надо предпринять для сохранения еще остающегося разнообразия животных, растений, грибов и всех других организмов. Специалисты по тем или иным

группам обычно знают ответы на эти вопросы. Более того, известны виды, которые пока еще существуют в природе только благодаря предпринятым в свое время специальным мерам по их охране. Это и золотистый львиный тамарин (*Leontopithecus rosalia*) — мелкая обезьяна из семейства игрунковых, и американский журавль (*Grus americana*), и белый носорог (*Ceratotherium simum*) и некоторые другие. Однако в сложившейся ситуации одного только знания специалистов о том, что надо делать для сохранения тех или иных видов, недостаточно. Ведь у специалистов нет ни ресурсов, ни властных полномочий для осуществления предлагаемых мер.

Основной вопрос, возникающий в связи с катастрофически быстрым вымиранием множества видов, должен быть обращен не к специалистам, а к обществу в целом. Сводится он к тому, как его убедить, что разнообразие пока еще существует, нечто такое, что мы обязаны поддерживать и сохранять, расходуя на это немалые средства (сопоставимые, к примеру, с теми, что тратятся на обеспечение безопасности государства).

Пытаясь объяснить необходимость сохранения биоразнообразия, специалисты стараются подчеркнуть его практическую значимость. Сам термин «биоразнообразие» (англ. «biodiversity», сокращенная форма от «biological diversity») появился в начале 1980-х годов в связи с растущей обеспокоенностью ученых и общественности массивными вырубками тропических лесов. А поскольку тропические леса — это экосистемы, характеризующиеся не только максимальным числом видов на единицу площади, но и самой высокой первичной продукцией (количеством органического вещества, образованного растениями), возникла идея связать эти показатели. Призывая сохранять биоразнообразие, исследователи исходили из того, что чем выше видовое разнообразие растительного сообщества, тем выше первичная продукция, а соответственно, скорость связывания углекислого газа и скорость выделения кислорода. Молчаливо допускалось, что убедить общество в важности сохранения биоразнообразия проще, если апеллировать к процессам, влияющим на состав атмосферы (как никак, все дышим одним воздухом).

Правда, широкой публике не разъясняли, что в зрелых тропических лесах процессы фотосинтеза и дыхания уравновешены. Связь же разнообразия растительного сообщества с его продукцией в зависимости от масштаба рассмотрения может быть как положительной, так и отрицательной. Например, при удобрении лугов в умеренной зоне продукция возрастает, а видовое разнообразие снижается*.

В различных документах, обосновывающих

* Подробнее см.: *Гиляров А.М.* Связь биоразнообразия с продуктивностью — наука и политика // Природа. 2001. №2. С.20—24.

необходимость сохранения биоразнообразия, все чаще фигурирует такое выражение, как «экосистемные услуги» (ecosystem services). Очевидно, что речь идет о крайне антропоцентристской позиции, из которой следует, что ценно в природе только то, что обеспечивает наше благополучие. Соответственно, и все разнообразие фауны и флоры имеет какое-то значение лишь постольку, поскольку оказывает людям некие «услуги». Задача же ученых — выяснить, в чем заключаются эти услуги (существование их сомнению не подвергается) и дать рекомендации относительно того, как «помочь» природе оказывать нам эти услуги и впредь. Я намеренно утрирую ситуацию, но логика подхода именно такова. Она переключается с той, что была характерна для ранней естественной истории XVI—XVII вв. Тогда очень популярна была идея «книги природы» — системы знаков, рассыпанных Творцом. Так, трехлопастный лист печеночницы напоминал печень и «подавал» знак, что растение это поможет при болезни печени.

Излишне говорить, что, опираясь на представление об «экосистемных услугах», изменить ситуацию с сегодняшним отношением к сохранению дикой природы вряд ли удастся. Утверждать, что белый медведь или тигр нужны нам, поскольку входят в «комплект экосистемных услуг», по меньшей мере нелепо. «Оправдание» существования в природе того или иного вида животных и растений ссылками на его практическую пользу далеко не всегда возможно. К чему же тогда апеллировать?

Здесь мы вынуждены покинуть область науки и перейти в область этики и массового сознания, которое основывается прежде всего на мифологических конструкциях. Научное сознание в современном обществе занимает на самом деле маргинальное положение, и надеяться на то, что доводы ученых о необходимости охраны биоразнообразия будут услышаны, не приходится. Да и доводы эти не слишком убедительны. Утверждать, к примеру, что экосистема приморской тайги развалится, если в ней не будет тигра, мы никак не можем, хотя тигр, конечно, служит хорошим регулятором численности копытных. Возможен и другой взгляд — нам нужно охранять тигра, а это требует сохранения большого массива нетронутого леса. Такой подход может быть даже более эффективен в политике защиты лесов, но в этом случае тигр, живущий в природе, должен представлять для общества неизмеримо большую ценность, чем сам лес.

Куда более важную роль в определении отношения человека к природе играет мифология, в том числе и тот ее современный, подпертый политехнологиями, вариант, который воплощен в действующих религиях. Достаточно посмотреть на многотысячные толпы паломников, скопившихся в Мекке, чтобы оставить какие-либо со-

мнения на этот счет. Но можно ли, опираясь на религию, убедить широкие слои населения в необходимости сохранить существующее разнообразие животных и растений? Вряд ли: основные авраамические мировые религии — иудаизм, христианство, ислам, исходят из того, что человеку власть над природой дана Творцом, а сам Он имеет человекоподобный вид. Позиция сугубо антропоцентристская. Несравненно более дружественное отношение к природе вытекает из буддизма и индуизма, но положение этих религий в современном мире не столь сильно, чтобы переломить ситуацию в целом.

Заключение получается грустным: увы, нет никаких надежд на то, что современное общество перестанет быть обществом потребления, в кото-

ром все, в том числе и живая природа, превращено в товар. Похоже, что образ земного рая, фигурирующий на находящемся в Ватикане полотне Венчеслао Петера, вскоре начнет приобретать для людей новый смысл. Это будет происходить по мере того, как будут исчезать в дикой природе (а потом и в неволе) изображенные там животные. Наши потомки, пришедшие в Пинакотеку через 200, а тем более через 300 лет, скорее всего, уже не узнают треть, а может, и половину изображенных там видов. Они будут рассматривать картину так, как мы рассматриваем сейчас дошедшие до наших дней очень примитивные изображения стеллеровой коровы или дронта — животных, которых человек довольно быстро изничтожил после того, как они были открыты. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 10-04-00276.

Литература

1. <http://www.cbd.int/>; http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/biodiv.shtml
2. Сайт Красной книги Международного союза охраны природы. The IUCN Red List of Threatened Species: <http://www.iucnredlist.org/>
3. *Hoffmann M., Hilton-Taylor C., Angulo A. et al.* The impact of conservation on the status of the world's vertebrates // *Science*. 2010. V.330. P.1503—1509.
4. *Rahmstorf S., Cazenave A., Church J.A. et al.* Recent climate observations compared to projections // *Science*. 2007. V.316. P.709.
5. *Velicogna and Wahr* // *Nature*. 2006. V.443. P.329—331.
6. *Durner G.M., Whiteman J.P., Harlow H.J. et al.* Consequences of long-distance swimming and travel over deep-water pack ice for a female polar bear during a year of extreme sea ice retreat // *Polar Biology*. 2011. Online First, 14 January 2011.
7. *Amstrup S.C., DeWeaver E.T., Douglas D.C. et al.* Greenhouse gas mitigation can reduce sea-ice loss and increase polar bear persistence // *Nature*. 2010. V.468. P.955—958.
8. *Charmantier A., McCleery R.H., Cole L.R. et al.* Adaptive phenotypic plasticity in response to climate change in a wild bird population // *Science*. 2008. V.320. P.800—803.
9. *Bearhop S., Fiedler W., Furness R.W. et al.* Assortative mating as a mechanism for rapid evolution of a migratory divide // *Science*. 2005. V.502. P.502—504.
10. *Both C., Bouwuis S., Lessells C.M. et al.* Climate change and population declines in a long-distance migratory bird // *Nature*. 2006. V.441. P.81—83.
11. *Saino N., Ambrosini R., Rubolini D., Hardenberg J.von et al.* Climate warming, ecological mismatch at arrival and population decline in migratory birds // *Proc. R. Soc. B*. 2011. V.278. P.835—842.
12. *Fargione J., Hill J., Tilman D. et al.* Land clearing and the biofuel carbon debt // *Science*. 2008. V.319. P.1235—1238.
13. *Barnosky A.D., Matzke N., Tomiya S. et al.* Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? // *Nature*. 2011. V.471. P.51—57.

Квантовое трение и графен

А.И.Волокитин

Несколько последних десятилетий физики были заинтригованы идеей о квантовом трении. Оно предполагает, что два тела, движущиеся относительно друг друга, испытывают силу трения, которая возникает за счет квантовых флуктуаций (определяемых соотношением неопределенности Гейзенберга) внутри тел [1, 2]. Однако до настоящего времени не было экспериментальных доказательств за или против этого явления, так как эффекты, связанные с движением, очень малы, а прецизионные измерения квантовых сил с помощью имеющихся технологий чрезвычайно сложны. Существование квантового трения до настоящего времени остается предметом жарких дискуссий даже между теоретиками [3–5]. Однако ситуация резко изменилась с появлением нового материала — графена.



Александр Иванович Волокитин, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики Самарского государственного технического университета, приглашенный ученый Института Петера Грюнберга (Научно-исследовательский центр в Йюлихе, Германия). Область научных интересов — физика наноструктур, нанотрибология, зондовая сканирующая спектроскопия.

Удивительный объект оказался кстати

Графен, изолированный монослой углерода, который научились получать совсем недавно, состоит из атомов углерода, плотно упакованных в двухмерную сотовидную кристаллическую решетку (рис.1). Уникальные электронные и механические свойства графена [6] активно изучаются как теоретически, так и экспериментально из-за их важности для фундаментальной физики, а также возможных технологических приложений. В частности, давно было известно теоретически, что электронные волны в сотовидной кристаллической решетке могут быть описаны тем же уравнением, что и безмассовые фермионы в релятивистской теории Дирака. Экспериментальное открытие графена позволило исследовать явления квантовой электродинамики путем изучения электронных свойств этого материала. Большое вни-

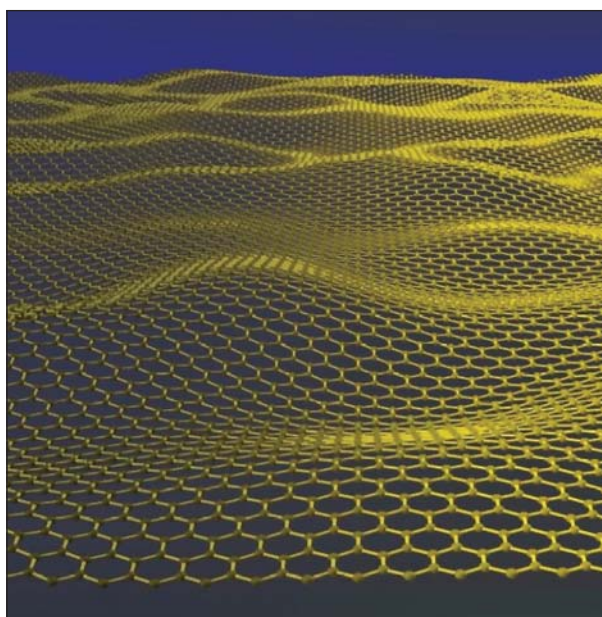


Рис.1. Сотовидная решетка графена. В свободном состоянии графен имеет волнообразную поверхность (с высотой волн ~1 нм), что стабилизирует двухмерную (2D) структуру графена. 2D-структура графена может также стабилизироваться поверхностью подложки, на которой расположен графен.

мание также привлечено к анализу перспектив его практического применения в электронике и в сенсорах.

Графен может также пригодиться для детектирования квантового трения. Дело в том, что электроны в графене, расположенном на поверхности, например, полярного диэлектрика SiO_2 , будут испытывать добавочное трение за счет взаимодействия с оптическими фононами в диэлектрике. В сильных электрических полях электроны в графене могут двигаться с очень большими скоростями ($\sim 10^6$ м/с). При таких скоростях основной вклад в трение будут давать квантовые флуктуации. Таким образом, квантовое трение можно детектировать путем измерения транспортных электрических свойств графена при больших электрических полях.

Кроме квантовых, в средах имеются тепловые флуктуации, связанные с тепловым движением. Они дают вклад в консервативно-диссипативные силы взаимодействия и полностью определяют радиационную передачу тепла между неподвижными телами. Необычные свойства графена позволяют использовать его для изучения явлений, связанных как с квантовыми, так и с тепловыми флуктуациями.

Флуктуации приводят к взаимодействию

Согласно квантовой электродинамике, электромагнитное поле может быть представлено в виде набора гармонических осцилляторов. Энергия квантового гармонического осциллятора способна принимать только дискретные значения и ограничена снизу величиной, которая называется энергией нулевых колебаний. Х.Казимир в 1948 г. впервые осознал, что изменение энергии нулевых колебаний электромагнитного поля при наличии тел будет приводить к взаимодействию между телами. Он рассмотрел две параллельные пластины из идеальных проводников, которые отделены друг от друга вакуумной щелью. Две идеальные отражающие поверхности представляют собой волновод. Число электромагнитных волн в волноводе дискретно и зависит от его толщины. При уменьшении толщины вакуумного промежутка число мод также уменьшается, что приводит к снижению энергии электромагнитных колебаний. Следовательно, существование вакуумных флуктуаций порождает силу притяжения между пластинами. Ясно, что этот эффект есть макроскопическое проявление квантовой природы энергии электромагнитного поля в вакууме.

Дальнейшее развитие теории электромагнитных флуктуаций связано с С.М.Рытовым (1953) [7]. По его идее, все тела окружены флуктуирующим электромагнитным полем, которое создается тепловыми и квантовыми флуктуациями плотности тока внутри тел. Первые возникают благодаря тепловым возбуждениям, а вторые суть следствие со-

отношения неопределенностей Гейзенберга (напомним, оно требует, чтобы в квантовой системе движение не прекращалось даже при абсолютном нуле температуры). Флуктуации плотности заряда порождают флуктуирующее электромагнитное поле, которое всегда присутствует внутри любой диссипативной среды. Вне среды это поле существует частично в форме бегущих электромагнитных волн, которые определяют тепловое излучение среды, и частично в форме неоднородных безызлучательных электромагнитных волн, амплитуда которых экспоненциально уменьшается при удалении от плоского источника (рис.2). Бегущие и неоднородные волны определяют электромагнитное поле в дальней и ближних зонах соответственно. Флуктуирующее электромагнитное поле в теории Рытова находится путем решения уравнений Максвелла, в которые вводится случайная плотность тока. Строгий квантово-механический расчет позволяет связать спектр флуктуаций плотности тока с диссипативными характеристиками среды, определяемыми мнимой частью диэлектрической функции. Заметим, что в теории электромагнитных флуктуаций случайная плотность тока играет ту же роль, что и случайная сила в теории броуновского движения.

Важность теории Рытова была немедленно оценена школой Ландау. Так, эту теорию в 1955 г. использовал Е.М.Лифшиц [8], когда создавал в рамках статистической физики и макроскопической электродинамики общую теорию взаимодействия Ван-дер-Ваальса для реальных материалов. Теория Лифшица дает общий метод рассмотрения сил Ван-дер-Ваальса в различных науках (физике, химии, биологии) и в технологии. В настоящее время интерес к данным силам возрос, так как было показано: они могут быть измерены с большой точностью, что должно найти приме-

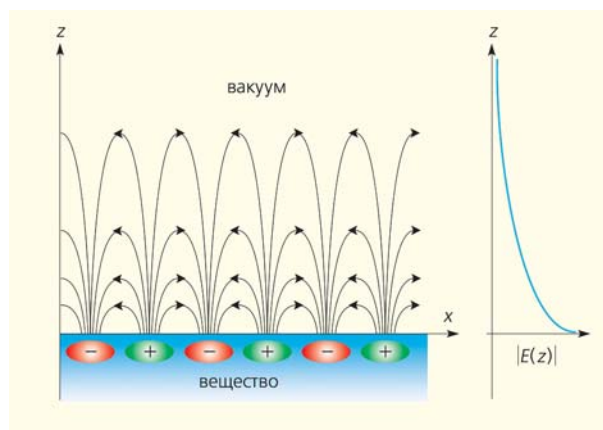


Рис.2. Неоднородные электромагнитные волны. Их амплитуда экспоненциально убывает при удалении от поверхности (справа). Интенсивность неоднородных волн особенно велика вблизи поверхности полярных диэлектриков, что связано с поверхностными поляритонами.

нение при конструировании микро- и наноэлектромеханических систем, над созданием которых сейчас активно работают наноконструкторы. Сомнения практически нет — в следующем десятилетии силы Казимира—Лифшица будут задействованы в практических нанотехнологических приложениях.

Теория Лифшица была сформулирована для систем, находящихся в термодинамическом равновесии. Сейчас интерес прикован к исследованию неравновесных систем. Основная причина этого кроется в возможности настраивать величину и силу взаимодействия в них. Такие системы позволяют также изучать роль тепловых флуктуаций, которые в тепловом равновесии маскируются квантовыми флуктуациями, дающими доминирующий вклад во взаимодействие вплоть до очень больших расстояний, когда результирующая сила становится очень маленькой.

Другие неравновесные тепловые эффекты исследовались Д.Полдэром и М.ван Ховом [9], которые вычисляли поток тепла между двумя параллельными поверхностями, разделенными вакуумной щелью. Уже более 30 лет физиков интересует вопрос о том, как видоизменяются взаимодействие Казимира—Лифшица и радиационная передача тепла при учете относительного движения тел. Ряд исследователей показали, что относительное движение тел приводит к появлению силы трения [1, 2]. Теория предсказывает, что сила трения действует даже при абсолютном нуле температуры, когда она определяется квантовыми флуктуациями. Однако в последние годы по поводу существования квантового трения разгорелись довольно жаркие дебаты [3—5]. Т.Филбин и У.Леонхардт заявили, что все предыдущие теории квантового трения некорректны, так как в них использовались различные приближения. Теория Филбина и Леонхардта предсказывает отсутствие квантового трения. Общая теория консервативно-диссипативных сил Казимира—Лифшица и радиационной передачи тепла между движущимися телами без использования каких бы то ни было приближений была разработана нами в работе [10]. Эта теория подтвердила корректность предыдущих результатов и показала ошибочность теории Филбина и Леонхардта [5].

Отражение приводит к трению

Природа квантового трения тесно связана с взаимодействием Ван-дер-Ваальса. Взаимодействие Ван-дер-Ваальса включается, если у атома или молекулы возникает спонтанный электрический дипольный момент за счет квантовых флуктуаций. Эта (хотя и короткоживущая) поляризация будет индуцировать дипольный момент в атоме или молекуле, расположенных на некотором расстоянии. То же самое справедливо и для протяженных сред,

когда тепловые и квантовые флуктуации плотности тока в одном теле индуцируют ток в другом. Флуктуирующий ток в первом теле будет взаимодействовать с индуцированным током во втором — это и есть взаимодействие Ван-дер-Ваальса. Но если тела еще и находятся в относительном движении, индуцированный ток будет немного отставать от своего первоисточника. Это отставание лежит в основе трения Ван-дер-Ваальса. При взаимодействии Ван-дер-Ваальса тела обмениваются главным образом виртуальными фотонами, связанными с квантовыми флуктуациями, поэтому силы не исчезают даже при абсолютном нуле температуры. Тепловые флуктуации начинают заметно сказываться на силах только при большом расстоянии между телами, когда вклад от квантовых флуктуаций становится очень мал. Напротив, трение Ван-дер-Ваальса при низких скоростях скольжения определяется обменом реальными фотонами, связанными с тепловыми флуктуациями. Однако при высоких скоростях и низких температурах основной вклад дают квантовые флуктуации. Именно в таких условиях следует искать квантовое трение, которое можно считать предельным случаем трения Ван-дер-Ваальса.

Природа трения Ван-дер-Ваальса, связанного с тепловыми флуктуациями, может быть объяснена эффектом Доплера. Излучение, испускаемое одним из движущихся тел, в системе отсчета, в которой второе тело покоится, будет испытывать доплеровский сдвиг частоты. Согласно Дж.Пендри (1997), разница в доплеровском сдвиге частоты для двух волн, отражающихся от движущихся в противоположных направлениях поверхностей, приводит к трению, если амплитуда отражения зависит от частоты (рис.3). Обмен фотонами с доплеровски сдвинутыми частотами и приводит к вкладу в трение Ван-дер-Ваальса за счет тепло-

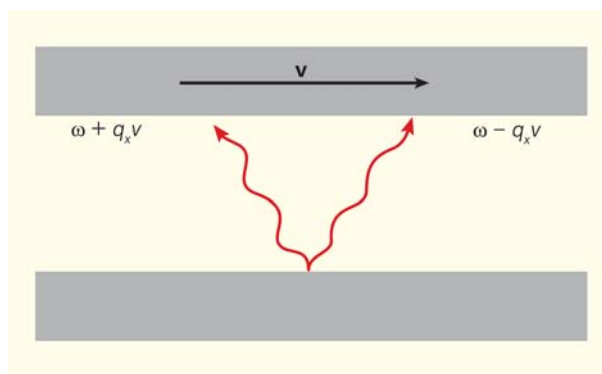


Рис.3. Природа трения Ван-дер-Ваальса: передача импульса между телами. Электромагнитные волны, излучаемые нижним телом, в системе покоя верхнего тела испытывают разный доплеровский сдвиг частоты. А так как амплитуда отражения от частоты зависит, они по-разному отражаются от поверхности верхнего тела, что и приводит к передаче импульса.

вых флуктуаций. Напротив, квантовое трение не может быть объяснено только эффектом Доплера, так как оно не связано с обменом между телами реальными фотонами, а происходит за счет возникновения возбуждений в каждом из тел. Если в неподвижной системе отсчета возбуждение имеет частоту $\omega_a(\mathbf{q})$, то в лабораторной системе отсчета его частота станет $\omega_a(\mathbf{q}) - q_x v$. В случае $\omega_a(\mathbf{q}) - q_x v < 0$ появление возбуждения будет приводить к понижению энергии. Выделяющаяся при этом энергия может пойти на рождение возбуждения в теле, которое покоится в лабораторной системе отсчета. Возбуждение несет с собой некоторый импульс, что равнозначно действию на это тело силы трения.

Описанное выше различие между квантовым и тепловым (за счет тепловых флуктуаций) трением было замечено Филбином и Леонхардтом (2009). Они утверждали, что асимметрию коэффициентов отражения, которая возникает в движущихся телах за счет эффекта Доплера, можно получить и для неподвижных магнитоэлектрических тел. При этом роль скорости v играет параметр магнитоэлектрической связи. Если вблизи такого магнитоэлектрического материала поместить другой диэлектрик, между ними будет возникать сила, аналогичная силе трения, которая возникает между движущимися относительно друг друга телами. Согласно рассуждениям Филбина и Леонхардта, если бы квантовое трение существовало, оно привело бы к ускорению диэлектрика, расположенному вблизи магнитоэлектрического материала, что соответствовало бы неограниченному источнику энергии. Так как энергию из вакуума черпать нельзя, был сделан вывод о невозможности квантового трения. Ошибка этих построений заключается в том, что не учитывалась связь квантового трения с возбуждениями, которые не могут возникнуть в системе неподвижных тел. Однако для теплового трения рассуждения Филбина и Леонхардта справедливы. Поэтому можно представить себе тепловую машину, которая превращает тепло в полезную работу посредством силы, аналогичной силе трения Ван-дер-Ваальса.

Важно также отметить, что в квантовое трение дают вклад только неоднородные волны, т.е. оно существует только между близко расположенными телами. Для тела, движущегося в абсолютном вакууме, квантовое трение (в отличие от теплового) равно нулю, что находится в согласии с принципом относительности. Согласно принципу относительности, все инерциальные системы отсчета эквивалентны. Поэтому, если бы на тело, движущееся в вакууме, действовала сила трения, это позволило бы определить, движется тело или покоится, что противоречит принципу относительности.

Недавно мы показали [11], что квантовое трение можно детектировать на основе вольт-амперных характеристик графенового полевого транзистора (рис.4). Электроны, перемещающиеся

в графене под действием электрического поля, будут испытывать внутреннее трение за счет взаимодействия с акустическими и оптическими фононами в графене и внешнее трение за счет взаимодействия с оптическими фононами в расположенной поблизости подложке из SiO₂. В сильных электрических полях электроны двигаются с большими скоростями, при этом основной вклад в трение дает взаимодействие с оптическими фононами в графене и в SiO₂. Однако частота оптических фононов в графене приблизительно в четыре раза больше их частоты в SiO₂. Поэтому основной вклад в трение будет давать взаимодействие с оптическими фононами в SiO₂; соответственно, этим же взаимодействием определяется электропроводность графена в сильных электрических полях. Оно приводит к трению, которое мы описывали в рамках теории трения Ван-дер-Ваальса.

Графики на рис.5 показывают зависимость плотности тока J от напряженности электрического поля E для концентрации носителей заряда $n = 10^{12}$ см⁻² при различных температурах. Кривые получены при учете соотношений $J = nev$ и $neE = F_x$, где v — скорость электронов, а F_x — сила трения, действующая на единицу поверхности графена. Плотность тока насыщается при $E \sim 0.5\text{--}2.0$ В/мкм, что согласуется с экспериментальными данными. Скорость насыщения может быть оценена из I – E -характеристик с использованием первого соотношения (ток–скорость), где ток насыщения $J_{\text{sat}} \approx 1.6$ мА/мкм: $v_{\text{sat}} \approx 10^6$ м/с. График рис.5,а был рассчитан при $T = 0$ К (при нулевой температуре трение Ван-дер-Ваальса обусловлено исключительно квантовыми флуктуациями [1]).

Квантовая механика предлагает для трения Ван-дер-Ваальса процессы двух типов: (а) в каждом теле рождаются возбуждения с противоположными импульсами и частотами $\omega_1 + \omega_2 = \mathbf{v} \cdot \mathbf{q}$, где q — компонента передаваемого импульса, параллельная поверхности, \mathbf{v} — скорость относительного движения; (б) в одном теле возбуждение исчезает, в другом — рождается. Процесс (а) связан с квантовыми флуктуациями, поэтому он возможен даже при абсолютном нуле температуры.

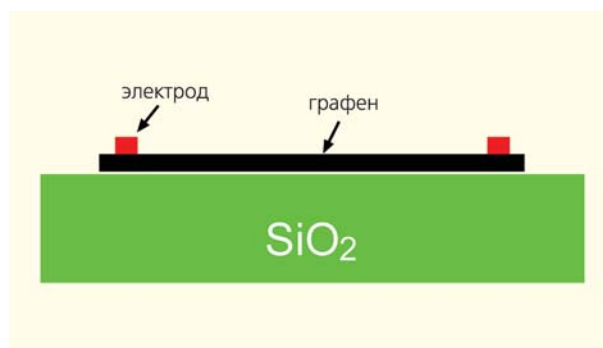


Рис.4. Схема графенового полевого транзистора.

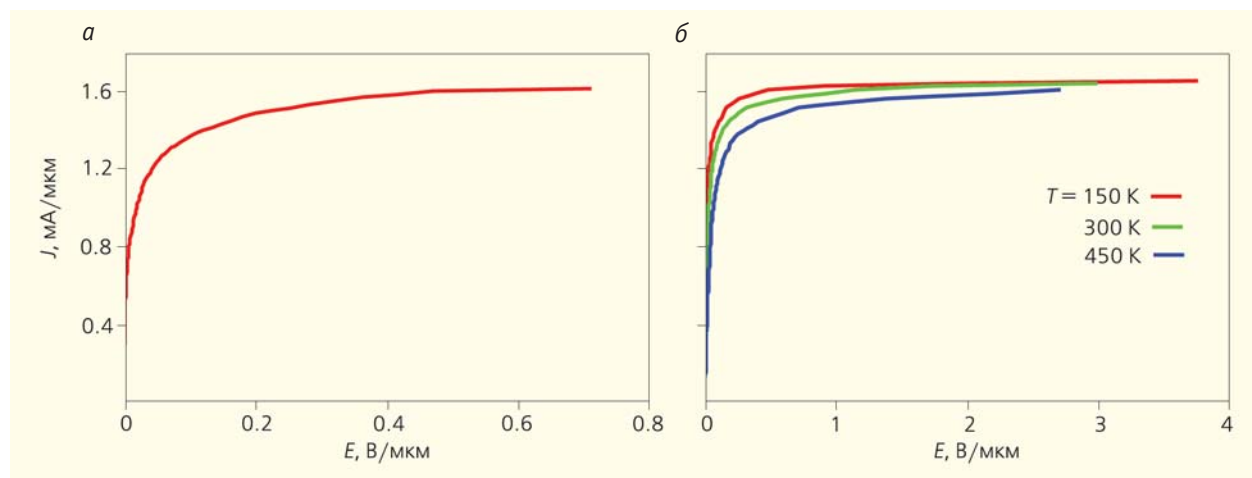


Рис.5. Роль взаимодействия между оптическими фононами в SiO_2 и свободными носителями заряда в графене в электрических характеристиках графенового полевого транзистора. Расчетные зависимости плотности тока от напряженности электрического поля при концентрации свободных носителей заряда $n = 10^{12} \text{ см}^{-2}$ для $T = 0 \text{ К}$ (а) и ненулевых температур (б). Расстояние между графеном и SiO_2 $d = 3.5 \text{ \AA}$.

При малых скоростях квантовое трение кубически зависит от скорости скольжения [1, 2]. Для процесса (б) требуется конечная температура, соответствующее ему трение при малых скоростях зависит от скорости скольжения линейно. Поэтому процесс (б) вносит основной вклад в трение при достаточно высокой температуре и не слишком больших скоростях. При низких температурах или больших скоростях доминирующий вклад будет, как уже говорилось, за квантовым трением.

Квантовое трение, понятно, связано с процессами (а). В графене существенными возбуждениями являются электронно-дырочные пары, которые образуются при переходе электрона из занятого состояния ниже уровня Ферми в свободное состояние выше уровня Ферми. Энергия электронно-дырочных пар начинается с нуля. В диэлектрике SiO_2 возбуждения определяются оптическими фононами с частотой $\omega_{\text{ph}} \sim 60 \text{ мэВ}$ ($9 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$). Характерный волновой вектор графена задается волновым вектором Ферми k_F . Таким образом, сила трения, связанная с возбуждением оптических фононов, будет сильно возрастать при условии $v > v_{\text{sat}} = \omega_{\text{ph}} / k_F \sim 10^6 \text{ м/с}$, что находится в согласии с результатами численных расчетов и эксперимента. Итак, измерения вольт-амперных характеристик графена, расположенного на подложке из SiO_2 , дают возможность детектировать квантовое трение.

Трение индуцирует электрическое поле

Альтернативный метод изучения трения Ван-дер-Ваальса состоит в создании тока в одном металлическом слое и изучении эффекта фрикционного увлечения в расположенном поблизости втором (параллельном) металлическом слое. Когда оба

слоя представляют собой двухмерные (2D) системы, при протекании тока в первом слое на электроны второго сила увлечения действует особенно эффективно. Это явление, предсказанное независимо М.Б.Погребенским (1978) и П.Прайсом (1983), впервые наблюдалось для полупроводниковых 2D-квантовых ям Т.Грамилой и др. (1991). В 2D-слоях электроны могут двигаться только в направлениях, параллельных поверхности слоя. Если второй слой служит частью разомкнутой цепи, в нем возникает электрическое поле (т.е. напряжение), компенсирующее силу увлечения за счет взаимодействия с первым.

Значительно проще эксперимент по фрикционному увлечению можно осуществить с графеновыми листами. Его можно проводить в вакууме, когда легко исключить вклад во фрикционное увлечение за счет обмена фононами. Чтобы снизить паразитный шум из-за присутствия диэлектрика, предотвращающего туннелирование между двумя полупроводниковыми 2D-слоями, эксперименты по фрикционному увлечению между квантовыми ямами ставились при очень низкой температуре ($T \approx 3 \text{ К}$). Для подвешенных в вакууме графеновых листов такой проблемы не существует, и эксперимент может быть осуществлен при комнатной температуре. Кроме того, 2D-квантовые ямы в полупроводниках имеют очень низкую энергию Ферми $\epsilon_F \approx 4.8 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}$. Поэтому электроны в этих квантовых ямах образуют вырожденный электронный газ только при очень низких температурах $T < T_F = 57 \text{ К}$. Для графена энергия Ферми $\epsilon_F = 0.11 \text{ эВ}$ при $n = 10^{12} \text{ см}^{-2}$, и электронный газ остается вырожденным для $T < 1335 \text{ К}$.

При малых скоростях электрическое поле, индуцируемое фрикционным увлечением, линейно зависит от скорости: $E = \mu^{-1}v$, где μ — по-

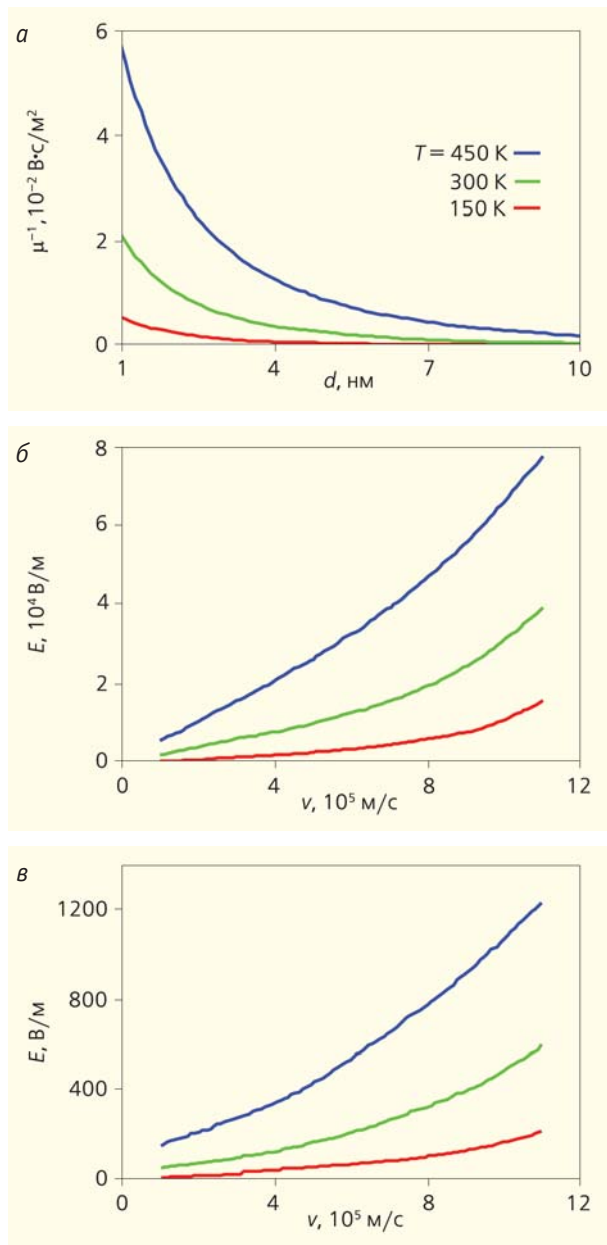


Рис.6. Фрикционное увлечение между двумя графеновыми листами при концентрации носителей заряда $n = 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Расчетная зависимость коэффициента трения для единичного заряда μ^{-1} от расстояния между графеновыми листами d (а). Зависимость напряженности электрического поля, индуцируемого в графене, от дрейфовой скорости носителей заряда в другом графеновом листе, которая рассчитана при расстояниях между листами 1 (б) и 10 нм (в).

движность единичного заряда в слабом электрическом поле. Рисунок 6,а демонстрирует зависимость коэффициента трения для единичного заряда μ^{-1} от расстояния d между графеновыми листами. Например, $E = 5 \cdot 10^{-4} v \text{ В}/\text{м}$ при $v \ll v_F$, $T = 300 \text{ К}$ и $d = 10 \text{ нм}$. Для графенового листа длиной 1 мкм при $v = 100 \text{ м}/\text{с}$ это электрическое по-

ле будет индуцировать напряжение $V = 10 \text{ нВ}$, что может быть измерено с помощью современных экспериментальных методов. Значительно большее напряжение $V \approx 0.1 \text{ мВ}$ будет индуцироваться при движении носителей заряда с дрейфовой скоростью $v \sim 10^6 \text{ м}/\text{с}$. На рис.6 приведены зависимости индуцируемой напряженности электрического поля от скорости для $d = 1 \text{ нм}$ и $d = 10 \text{ нм}$. Как хорошо видно, эффект фрикционного увлечения между графеновыми листами сильно зависит от температуры, т.е. определяется тепловыми флуктуациями.

Закон Стефана—Больцмана нарушается на наноуровне

В заключение вернемся к неоднородным электромагнитным волнам, с которых начинался наш рассказ о взаимодействии Ван-дер-Ваальса. Они могут играть важную роль при радиационной передаче тепла. По классическому закону Стефана—Больцмана поток тепла между двумя абсолютно черными телами с плоскими параллельными поверхностями определяется их температурами и не зависит от расстояния между поверхностями, но на наноуровне все обстоит по-другому. Как было сначала предсказано теоретически Полдером и ван Ховом [9] в рамках стохастической электродинамики, основанной Рытовым [7], и недавно подтверждено экспериментально [12, 13], на коротких расстояниях передача тепла может увеличиваться за счет неоднородных электромагнитных волн на много порядков. Особенно сильное увеличение возникает, если на поверхности тел имеются локализованные поверхностные моды типа поверхностных плазмонов, поверхностных поляритонов или колебательных мод адсорбатов [1, 2]. Этот эффект имеет громадное значение для нанотехнологий, так как может использоваться в нанолитографии, записи информации на магнитных дисках и в преобразователях энергии.

В двух недавних экспериментах [12, 13] измерялась тепловая контактная проводимость между кварцевыми пластиной и сферой для расстояний от 30 нм до нескольких микрометров. Поток тепла через вакуумный промежуток пластина—сфера вызывает небольшой изгиб консоли, держащей сферу, который измерялся с помощью оптической волоконной интерферометрии (рис.7). Эксперименты были ограничены расстояниями больше 30 нм, так как сфера имеет характерную шероховатость $\sim 40 \text{ нм}$, а при малых расстояниях неоднородности влияют на измеряемую передачу тепла. Поэтому очень короткие расстояния (меньшие, чем приблизительно 10 нм), могут быть недоступными в конфигурации пластина—сфера, так как чрезвычайно трудно приготовить на наноуровне достаточно большую пластину и высококачественную сферу без нежелательных по-

верхностных несовершенств. Такие экстремально малые расстояния имеют громадное значение для конструирования наномасштабных устройств, поскольку современные наноструктуры значительно меньше 10 нм и разделены в некоторых случаях только несколькими ангстремами. Недавно нами было показано [14], что изучать радиационную передачу тепла на чрезвычайно коротких расстояниях в конфигурации пластина—пластина тоже очень удобно с помощью графена.

Характерная шероховатость подвешенного графена ~1 нм, поэтому измерения тепловой контактной проводимости могут осуществляться для расстояний, больших ~1 нм (приложением растягивающих напряжений шероховатость графена, по видимому, может быть даже уменьшена). Другое преимущество состоит в том, что при стационарных условиях поток тепла S_z равен джоулеву теплу, которое выделяется в графене при протекании тока: $S_z = EJ$, где E и J — напряженность электрического поля и плотность тока соответственно. Эти величины могут быть с большой точностью получены из вольт-амперных характеристик графена. Температура графена также измеряется с большой точностью с помощью рамановской спектроскопии.

Для графена, расположенного на подложке, кроме радиационного механизма передачи тепла существует также механизм, связанный с взаимодействием между колебаниями в контактирующих средах. При наличии этого фононного механизма джоулево тепло, генерируемое в графене при протекании тока, будет передаваться подложке посредством радиационного и фононного механизмов: $EJ = S_z + \alpha_{ph}(T_g - T_d)$, где α_{ph} — фононный коэффициент передачи тепла, T_g и T_d — температуры графена и диэлектрика соответственно. Согласно теоретическим расчетам и эксперименту, для контакта графен—SiO₂ $\alpha_{ph} \approx 10^8 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$. Расчеты радиационной передачи тепла между графеном и SiO₂ были проведены нами в работе [14] на основе разработанной ранее теории радиационной передачи между движущимися телами [10]. То, что носители заряда в графене движутся относительно подложки, приводит к новым эффектам. Для неподвижных тел передача тепла между ними определяется только тепловыми флуктуациями. Для движущихся относительно друг друга тел в передачу тепла вносят вклады как тепловые, так и квантовые флуктуации. Рис.8,а показывает, как отношение между полным коэффициентом передачи энергии (который определяется как отношение передаваемой в единицу времени на единицу поверхности энергии к разности температур между поверхностями) и фононным коэффициентом передачи тепла зависит от напряженности электрического поля для графена, расположенного на поверхности SiO₂. Для слабого поля это отношение значительно больше единицы, так что в этом случае оба механизма передачи тепла (ра-

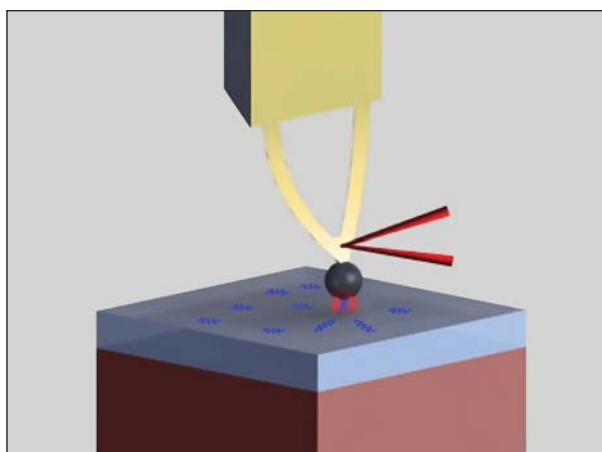


Рис.7. Схема эксперимента по наблюдению радиационной передачи тепла между кварцевой пластиной и кварцевой сферой.

диационный и фононный) дают вклады в передачу тепла одного порядка. Фононный механизм передачи тепла доминирует для сильных электрических полей. Для графена, находящегося на поверхности SiO₂, передача энергии оказывается очень эффективной, поэтому температура не поднимается существенно даже в сильных электрических полях, когда ток в графене достигает насыщения. Это очень важно с точки зрения применений графена в электронике, в частности при изготовлении графенового транзистора, так как сильный разогрев устройства приводил бы к выходу его из строя. Рис.8,в показывает, что квантовые флуктуации могут давать значительный вклад в полную передачу энергии при низких температурах и сильных электрических полях. Аналогично в области насыщения электрического тока квантовые флуктуации дают важный вклад в полную силу трения (рис.8,з), т.е. трение становится в значительной степени квантовым. При больших расстояниях между графеном и подложкой ($d > 1$ нм) передача тепла между ними определяется только радиационным механизмом. При $d \sim 5$ нм и $T = 300$ К рассчитанный нами коэффициент передачи тепла за счет радиационной передачи тепла в ближней зоне $\sim 10^4 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$, что примерно на три порядка больше, чем для излучения абсолютно черного тела. Для сравнения: коэффициент передачи тепла для «плоской» системы SiO₂—SiO₂ (в конфигурации пластина—пластина), которая может быть извлечена из экспериментальных данных для конфигурации пластина—сфера, $\sim 2230 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$ для щели размером ~ 30 нм. В этой системе коэффициент передачи тепла зависит от расстояния как $1/d^2$; поэтому $\alpha \sim 10^5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$ при $d \sim 5$ нм, что на порядок больше, чем для системы графен—SiO₂ в той же самой конфигурации. Однако, как обсуждалось выше, такие экстремально малые расстояния могут оказаться недостижимы-

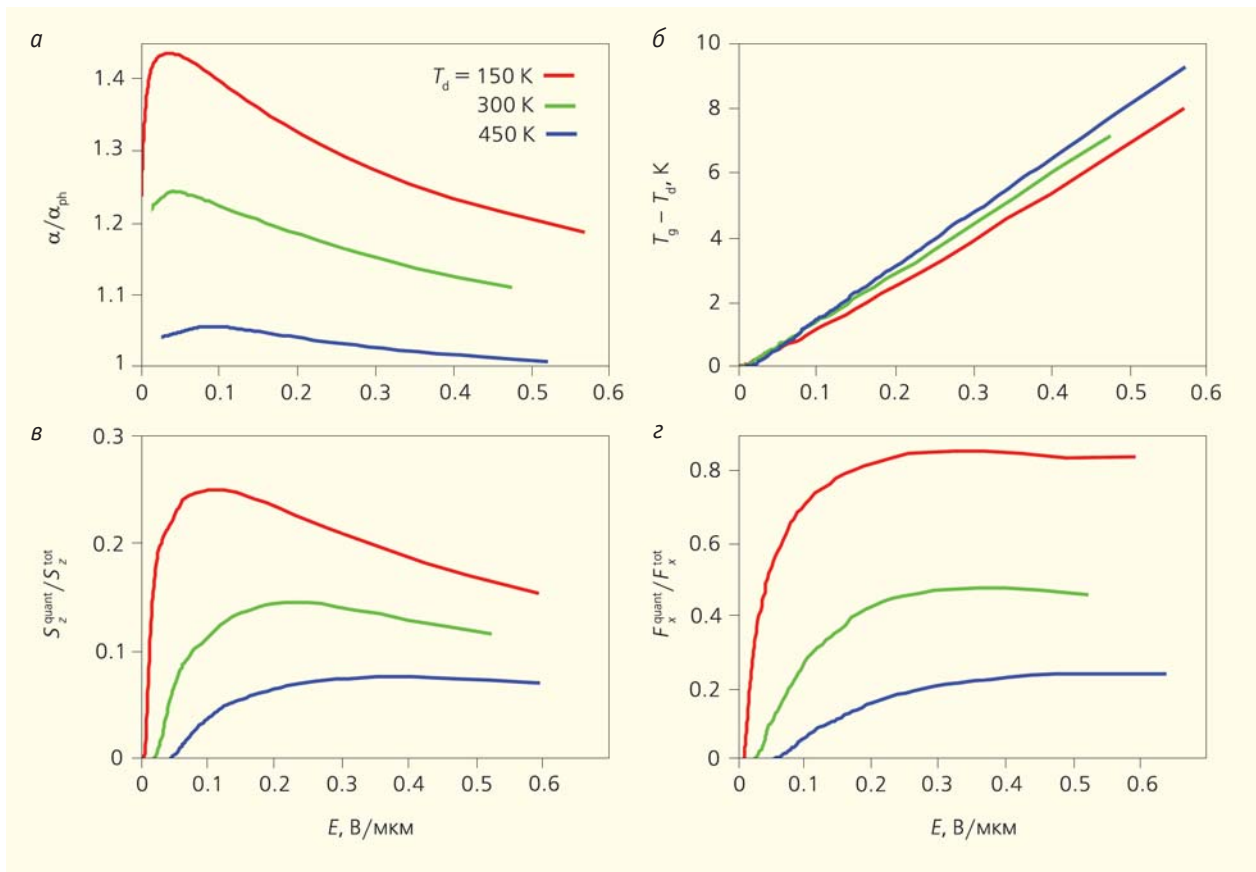


Рис.8. Радиационная передача энергии между графеном и SiO₂ при $n = 10^{12} \text{ см}^{-2}$, $d = 3.5 \text{ \AA}$, $\alpha_{\text{ph}} = 10^8 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$. Расчетная зависимость отношения между полным коэффициентом передачи энергии и фоновым коэффициентом передачи тепла от напряженности электрического поля (а). Зависимость разности температур между графеном и подложкой от напряженности электрического поля (б). Полевые зависимости отношения между потоком энергии только за счет квантовых флуктуаций S_z^{quant} и полным потоком энергии (в) и отношения между силой трения только за счет квантовых флуктуаций F_x^{quant} и полной силой трения (з).

ми для системы SiO₂—SiO₂: в конфигурации пластина—пластина чрезвычайно трудно ориентировать пластины параллельно друг другу, а в конфигурации пластина—сфера встает проблема, связанная с изготовлением совершенной сферы. В то же время лист графена значительно проще выровнять относительно подложки, используя, например, метод оптической волоконной интерферометрии. Это делает перспективным использование графена для изучения радиационной передачи тепла при ультракоротких расстояниях.

Перспективы воодушевляют

Квантовое трение, как сверхпроводимость и сверхтекучесть, — макроскопическое явление, природа которого определяется квантовыми закономерностями. В этом состоит его фундаментальное значение, но есть еще значение прикладное. Например, характеристики графенового полевого транзистора, над созданием которо-

го в настоящее время ведется активная работа, могут во многом определяться квантовым трением. По замыслу нанотехнологов, графеновый полевой транзистор должен в ближайший 10 лет заменить кремниевый и обеспечить дальнейший прогресс в наноэлектронике. Многие другие микро- и наноэлектромеханические системы, которые обещают новые приложения в сенсорах и информационных технологиях, могут зависеть от наличия квантового трения. Кроме того, квантовое трение определяет предел, до которого может быть уменьшена сила трения, а следовательно, и флуктуации, так как, согласно установленному Эйнштейном соотношению, трение и флуктуации связаны друг с другом. Та же сила, которая приводит к хаотическому движению броуновской частицы, ответственна и за трение, когда частица движется в среде. С другой стороны, флуктуации влияют на точность измерения сил. Возможно, наиболее волнующее приложение этих идей связано с механическим детектированием ядерного спинового резонанса. К при-

меру, детектирование одиночного спина с помощью магниторезонансной силовой микроскопии (которая была предложена для получения изображения биологических объектов, таких как протеины, с атомарным разрешением) и для квантового компьютера потребует уменьшения флуктуирующих сил (и, следовательно, трения) до беспрецедентного уровня. К тому же поиски квантовых гравитационных эффектов на коротких пространственных масштабах и будущие измерения сил Казимира—Лифшица могут быть в конце концов ограничены эффектами бесконтактного трения, одним из механизмов которого служит трение Ван-дер-Ваальса вместе со своим предельным случаем — квантовым трением. Для этих приложений лучшее понимание бесконтактного трения оказывается лишь первым шагом. В будущем необходимо научиться управлять бесконтактным трением, или, другими словами, «смазывать» вакуум. Интригующая идея — создание тепловой машины на основе представлений о природе трения Ван-дер-Ва-

альса. Как обсуждалось выше, трение Ван-дер-Ваальса за счет тепловых флуктуаций связано с изменением за счет эффекта Доплера оптических характеристик (амплитуд отражения) движущихся относительно друг друга тел. Однако подобное изменение оптических характеристик можно осуществить для покоящихся магнитоэлектрических веществ. При этом роль скорости будет играть параметр, определяющий связь между электрическими и магнитными характеристиками вещества. Если две пластины из магнитоэлектрического вещества расположить на небольшом расстоянии друг от друга, то при наличии разности температур между пластинами между ними станет действовать сила. Она будет приводить к ускорению тел, иначе говоря, совершать работу. Таким образом, подобное устройство могло бы использоваться для превращения тепла в работу, т.е. служить в качестве тепловой машины. Подобная тепловая машина могла бы найти многочисленные применения в наномеханических системах. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 10-02-00297-а.

Литература

1. *Volokitin A.I., Persson B.N.J.* // Review of Modern Physics. 2007. V.79. P.1291—1329.
2. *Волокитин А.И., Перссон Б.Н.Дж.* // Успехи физических наук. 2007. V.177. P.921—951.
3. *Philbin T.G., Leonhardt U.* // New J. Phys. 2009. V.11. P.033035.
4. *Pendry J.B.* // New J. Phys. 2010. V.12. P.033028.
5. *Volokitin A.I., Persson B.N.J.* // New J. Phys. 2011. V.13. P.068001.
6. *Novoselov K.S., Geim A.K., Morosov S.V. et al.* // Science. 2004. V.306. P.666—669.
7. *Рытов С.М.* Теория электрических флуктуаций и теплового излучения. М., 1953.
8. *Лифшиц Е.М.* // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1955. V.29. P.94—110.
9. *Polder D., van Hove M.* // Phys. Rev. B. 1971. V.4. P.3303—3314.
10. *Volokitin A.I., Persson B.N.J.* // Phys. Rev. B. 2008. V.78. P.155437.
11. *Volokitin A.I., Persson B.N.J.* // Phys. Rev. Lett. 2011. V.106. P.094502.
12. *Shen S., Narayanaswamy A., Chen G.* // Nano Lett. 2009. V.9. P.2909—2913.
13. *Rousseau E., Siria A., Jourdan G. et al.* // Nature Photon. 2009 V.90. P.514—517.
14. *Volokitin A.I., Persson B.N.J.* // Phys. Rev. B. 2011. V.83. P.241407(R).

На пороге новой химии фуллеренов

Л.Н.Сидоров, С.И.Троянов

Прошедший год был юбилейным для химии фуллеренов — прошло 25 лет со времени их открытия. Его датой принято считать выход в свет статьи, в которой сообщалось о структуре молекулы C_{60} , удивительно похожей на обычный футбольный мяч [1]. Как известно, его оболочка скроена из 12 пятиугольников (пентагонов) и 20 шестиугольников (гексагонов). Такую же форму имеет и молекула C_{60} (рис.1), которую назвали бакминстерфуллереном в честь известного архитектора Р.Бакминстера Фуллера, создававшего «геодезические купола» с каркасом в виде пентагонов и гексагонов.

Несколько позже была предложена структура и для C_{70} — формой она напоминала мяч для игры в регби. Вообще, стало ясно, что поверхность молекул с четным числом атомов углерода замкнута, а каркас состоит из пентагонов и гексагонов. Вследствие этого молекулы получили обобщающее название фуллерены. В их каркасах все атомы углерода характеризуются sp^2 -гибридизацией, т.е. каждый связан с тремя соседями. Валентность 4 осуществляется за счет π -связей — так же, как в ароматических соединениях. Такие структуры могут быть построены при $n \geq 20$ для любых «четных» молекул (за исключением $n = 22$), и все они должны содержать 12 пентагонов и $(n - 20)/2$ гексаго-



Лев Николаевич Сидоров, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией термохимии химического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова. Заслуженный деятель науки РФ, лауреат Ломоносовской премии (2002). Область научных интересов — синтез и термодинамика фуллеренов и их производных, углеродные материалы и их химическая модификация. Коллективная монография «Фуллерены» (2005).



Сергей Игоревич Троянов, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник той же лаборатории. Научные интересы связаны с синтезом и структурой неорганических, координационных и металлоорганических соединений, кристаллографией, химией фуллеренов.

нов. В частности, наименьший из теоретически возможных фуллеренов, C_{20} , представляет собой додекаэдр, но такая молекула слишком неустойчива из-за стерических напряжений. Однако их можно «снять» введением функциональных групп.

Невозможность получить как C_{20} , так и многие более крупные фуллерены, свидетельствовала, что строение каркаса существенно влияет на их устойчивость. Наиболее стабильны те из них, в которых все пентагоны окружены пятью гексагонами и не граничат друг с другом. Такую зависимость отражает правило изолированных пентагонов (в научной литературе его именуют *Isolated Pentagon Rule*, *IPR*). Структура одних фуллеренов соответствует ему, других — не соответствует. Как выяснилось, C_{60} — наименьший фуллерен, удовлетворяющий этому правилу, следующим же оказывается как раз C_{70} , а между ними подходящих каркасов нет. У всех высших фуллеренов ($n > 70$) всегда имеются изомеры с изолированными пентагонами в каркасе.

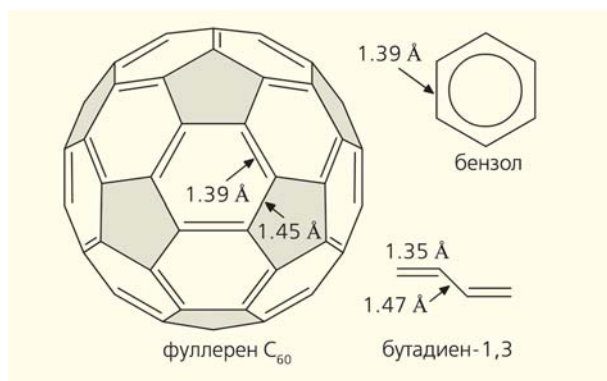


Рис.1. Бакминстерфуллерен. Здесь приведены длины связей фуллерена, бензола, у которого они все одинаковы, и бутадиена с его двойными и одинарными С–С-связями. В фуллерене более короткие «двойные» связи расположены по общим ребрам гексагонов и отсутствуют в пентагонах.

Число возможных фуллеренов, не подчиняющихся правилу изолированных пятиугольников, велико. Эти химически активные молекулы представляют собой весьма интересный объект исследований. О таких фуллеренах речь впереди, а сейчас начнем с тех, что открыты первыми — C_{60} и C_{70} , — и о химических преобразованиях, на которые они способны.

Молекулы C_{60} и C_{70}

Интерес к фуллеренам остался бы чисто академическим, если бы в 1990 г. не был найден эффективный способ их получения [2]. Лазерным испарением графита в дуговом разряде удавалось получать граммовые количества «фуллереновой сажи» с невысоким содержанием самих фуллеренов. А вскоре был разработан способ экстракции ароматическими растворителями, который позволял выделять фуллерены в чистом виде. Только после этого, в 1996 г., открытие фуллеренов было удостоено Нобелевской премии*. Фуллерен причислили одновременно и к неорганическим материалам как новую аллотропную модификацию углерода, и к миру органической химии, поскольку в химических превращениях он проявляет многие свойства непредельных углеводородов.

Возможности химической модификации фуллеренов оказались исключительно широки. Так, можно

— присоединять к атомам или двойным связям функциональные группы, в результате чего образуются экзоэдральные, или внешнесферные, производные;

* Об этом см.: Лауреаты Нобелевской премии 1996 года. Чернозатонский Л.А. По химии — РКёрл, ГКрото, РСмолли // Природа. 1997. №1. С.96—99.

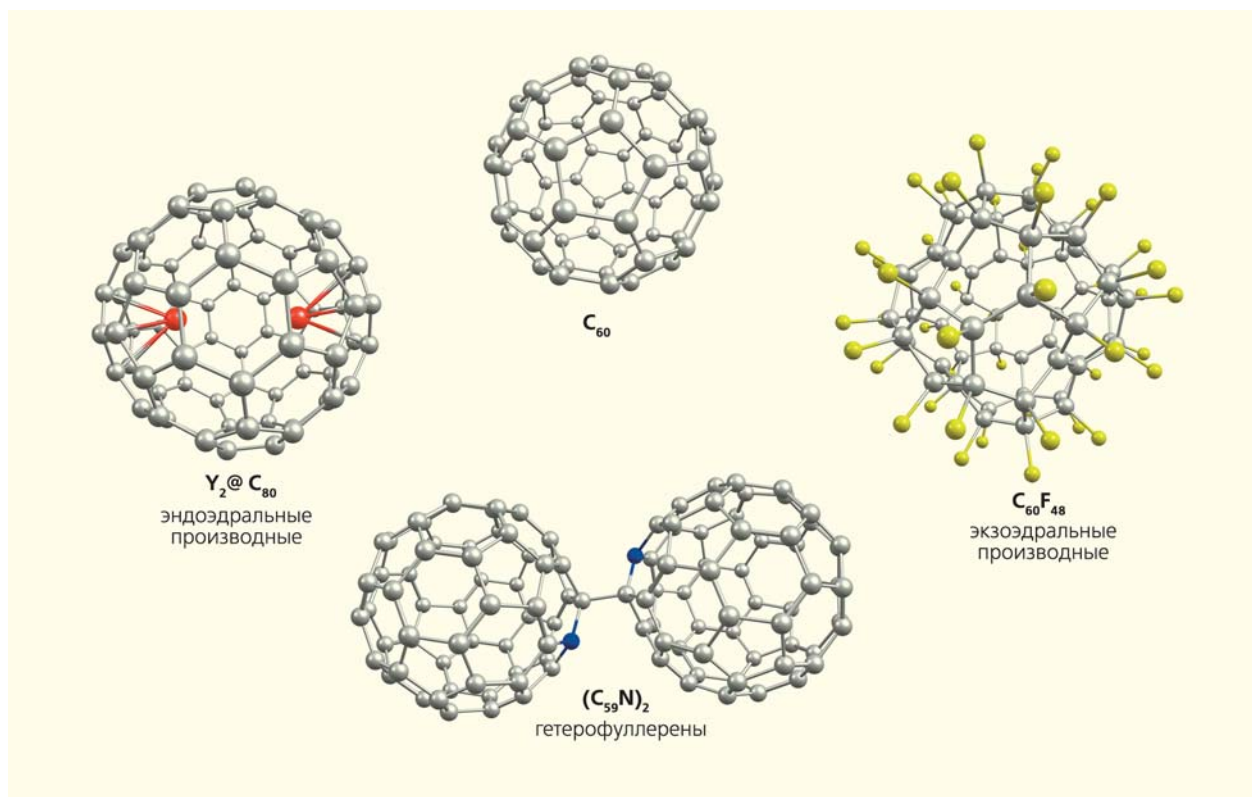


Рис.2. Производные фуллеренов. В эндоэдральном производном атомы иттрия внедрены внутрь сферы, в экзоэдральном фтор присоединен к атомам углерода молекулы C_{60} , в гетерофуллерене два каркасных атома углерода замещены азотом.



Рис.3. Области применения фуллеренов.

— внедрять атомы и даже небольшие кластеры внутри углеродной сферы, и тогда появляются эндодральные, или внутрисферные, производные, в обозначении которых содержится значок @.

— замещать каркасные атомы углерода атомами других элементов, например азота, и получать таким образом гетерофуллерены (рис.2).

Первые годы исследований химических и физико-химических свойств фуллеренов дали многообразные результаты, которые нельзя охватить в журнальной статье. Заинтересованный читатель может ознакомиться с ними в коллективной монографии, написанной сотрудниками нашей лаборатории [3].

Отличительная особенность фуллеренов — их способность образовывать значительное число изомеров в ходе модифицирования. Происходит это потому, что атомы или группы присоединяются к разным атомам углерода фуллеренового каркаса. Поэтому после первых синтетических успехов интерес постепенно сместился к разработке методов синтеза индивидуальных соединений. Совершенствовались также способы их выделения и очистки. В результате удалось определить строение множества различных производных и создать теоретические модели их образования из исходного фуллерена.

Выявились и области применения фуллеренов (рис.3). В их промышленном производстве, вероятнее всего, заинтересована не одна отрасль. Фуллерены и их производные, будучи одними из наиболее эффективных органических полупроводников *n*-типа, могут стать перспективными материалами для создания различных устройств на основе *p-n*-гетероперехода. Большие надежды связывают с органической солнечной энергетикой, которая базируется на композитах, состоящих из производных фуллеренов и полисопря-

женных полимеров. Еще одна важная область применения — медицина. Здесь привлекательность фуллеренов и их производных обусловлена такими особенностями, как трехмерное «замкнутое» строение, электронные, фотофизические и мембранотропные свойства. Диаметр молекулы фуллерена C_{60} (около 7 Å) обеспечивает возможность его специфического взаимодействия с определенными биологическими структурами по принципу «ключ-замок». В частности, обнаружено, что C_{60} подобным образом взаимодействует с ферментом ВИЧ-протеазой, ответственной за развитие иммунодефицита человека. Это легло в основу большого количества работ по поиску новых препаратов против СПИДа.

Миграции на внешней сфере

Поскольку фуллерен представляет собой сферический полиолефин, процессы, происходящие в олефинах и циклоолефинах, должны быть присущи и производным фуллеренов. В частности, это касается миграции атомов галогенов. Однако, в отличие от непредельных органических соединений, в молекулах фуллеренов могут мигрировать целые группы атомов — иногда более десятка. Химики, изучавшие продукты фторирования молекулярным фтором известных изомеров молекулы $C_{60}F_{36}$, установили, что получение основного изомера $C_{60}F_{48}$ требует перемещения не менее пяти атомов фтора [4]. Отсюда родился термин «танец фтора», отражающий глубокую перестройку в расположении атомов фтора на углеродном каркасе. Аналогичные перегруппировки происходят в гидридах и хлоридах фуллерена C_{60} . Например, в ходе хлорирования молекула $T_h-C_{60}Cl_{24}$ может превратиться в $D_{3d}-C_{60}Cl_{30}$ только при одновременном перемещении в новые позиции 12 атомов хлора (рис.4).

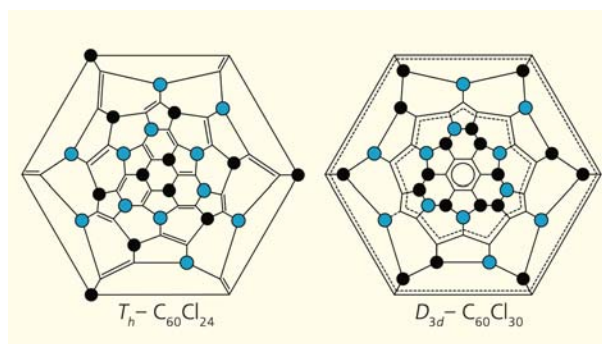


Рис.4. Диаграммы Шлегеля (плоские проекции) молекул $T_h-C_{60}Cl_{24}$ и $D_{3d}-C_{60}Cl_{30}$. На левой диаграмме черным помечены те атомы хлора, которые переместятся в новые позиции при хлорировании $T_h-C_{60}Cl_{24}$, а на правой — переместившиеся и добавленные атомы. Синие кружки соответствуют атомам хлора, оставшимся на прежних местах.

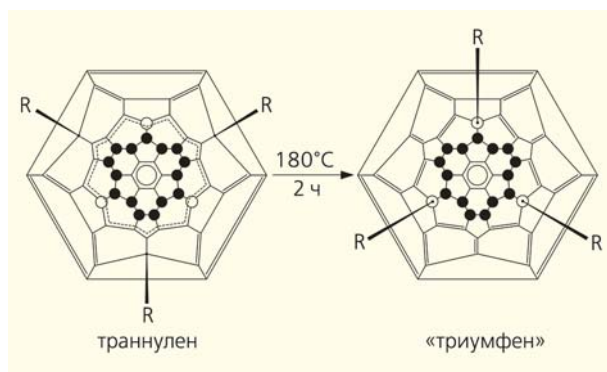


Рис.5. Преобразование траннуленового производного молекулы C₆₀F₁₈ в «триумфеновое». Этот процесс происходит за счет миграции трех органических аддендов (R) с одного полушария на другое.

Групповая миграция на фуллереновой сфере не ограничивается атомами и малыми функциональными группами. Если нагревать траннуленовые (т.е. содержащие 18-членный сопряженный цикл) производные C₆₀ в растворе 1,2-дихлорбензола, три крупные органические группы перемещаются с одного фуллеренового полушария на другое. В результате образуются термодинамически более выгодные производные — «триумфены» (рис.5).

Деформация каркаса

Фуллереновые каркасы разнообразны, так как их структура определяется взаимным расположением пентагонов и гексагонов. Когда к молекуле фуллерена присоединяется функциональная группа, sp²-гибридизация части атомов углерода меняется на sp³ и углеродный каркас значительно деформируется. Для иллюстрации рассмотрим строение молекул C₆₀F₁₈ и C₆₀F₂₀ с их весьма интересными особенностями.

В C₆₀F₁₈ изолированный на каркасе шестичленный цикл совершенно плоский, а длина всех связей C–C в нем одинакова — 1.38 Å. Это свидетельствует о прямой аналогии с бензолом. Следовательно, в C₆₀F₁₈ присутствуют и плоская ароматическая подструктура, и сферическая, расположенная на незатронутой фторированием полусфере углеродного каркаса. Поэтому молекула C₆₀F₁₈ уплощена и похожа на частично спущенный футбольный мяч (рис.6).

В молекуле C₆₀F₂₀ все 20 атомов фтора размещаются сплошным поясом по экватору, а на полюсах расположены пятичленные циклы, окруженные пятью шестиугольниками (рис.7). Поскольку атомы фтора образуют окружение, напоминающее кольца Сатурна, фторфуллерен C₆₀F₂₀ был удачно назван *сатурненом*.

Приведем еще один пример деформации каркаса (рис.8). Существуют два изомера хлорфуллере-

на — C₂-C₆₀Cl₃₀ и D_{3d}-C₆₀Cl₃₀ [5]. Изомер симметрии C₂ в течение двух дней нагревания при 300°C в присутствии SbCl₅ полностью превращается в изомер симметрии D_{3d}. Такое преобразование происходит за счет перемещения нескольких атомов хлора на фуллереновом каркасе, и он изменяется до неузнаваемости: от формы груши до формы барабана! И это несмотря на то, что взаимное расположение пентагонов и гексагонов полностью сохраняется.

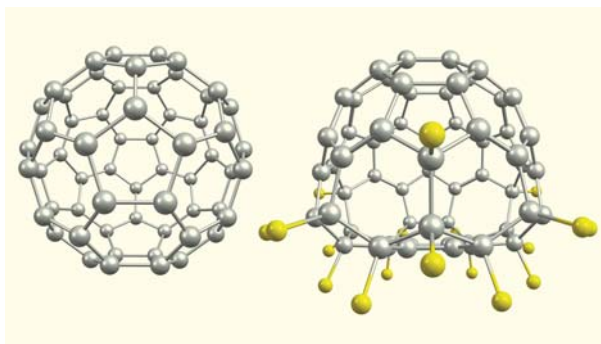


Рис.6. Углеродный каркас молекул C₆₀ (слева) и C₆₀F₁₈. Видно, насколько уплощена фторированная молекула.

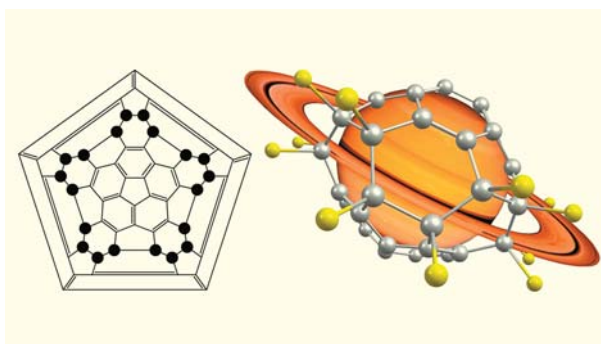


Рис.7. Диаграмма Шлегеля молекулы C₆₀F₂₀ и наглядное изображение молекулы «сатурнена».

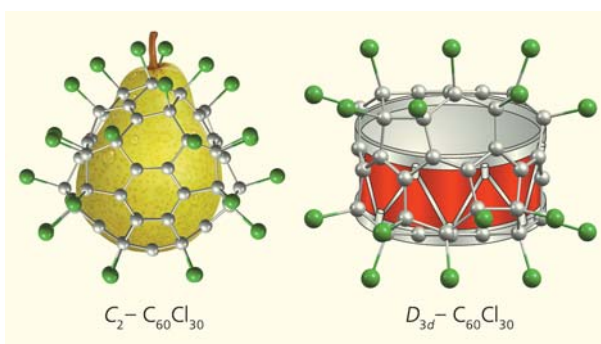


Рис.8. Изомеры C₂-C₆₀Cl₃₀ и D_{3d}-C₆₀Cl₃₀. В условиях эксперимента первый изомер, каркас которого формой напоминает грушу, превращается во второй, причем форма каркаса становится похожей на барабан.

Высшие фуллерены

Как известно, кроме C_{60} и C_{70} в продуктах обычного электродугового синтеза обнаруживаются небольшие количества молекул с числом атомов углерода более 70, т.е. высших фуллеренов. Оказалось, что они также подчиняются правилу изолированных пентагонов. Число соответствующих ему изомеров растет по мере увеличения размера фуллереновой клетки за счет разного взаимного расположения пентагонов и гексагонов. Так, C_{60} и C_{70} , а кроме них еще C_{72} и C_{74} имеют лишь по одному изомеру, а C_{76} , C_{78} , C_{84} , C_{90} и C_{96} — соответственно 2, 5, 24, 46 и 187 изомеров [6].

В последние годы удалось значительно расширить сведения о высших фуллеренах. Благодаря использованию рентгеноструктурного анализа монокристаллов были получены однозначные представления об изомерах, присутствующих в исходных смесях. Рентгеноструктурные данные также предоставили богатый материал по стереохимии присоединения к высшим фуллеренам перфторалкильных групп и атомов галогенов, в частности групп C_2F_5 к молекуле C_{96} [7]. (рис.9). Образующееся в результате производное $C_{96}(C_2F_5)_{12}$ — пока наиболее крупный изученный фуллерен с внешнесферными группами. Рентгенографически определив строение $C_{96}(C_2F_5)_{12}$, мы поняли, что топология углеродного каркаса C_{96} соответствует 145-му изомеру из 187 возможных с изолированными пентагонами. 12 групп C_2F_5 в этом производном расположены по одной в каждом пентагоне, а *пара*-гексагоны $C_6(C_2F_5)_2$ образуют на фуллереновом каркасе четыре отдельные области.

Галогениды составляют особую группу соединений с присущей только ей стереохимией. В хлоридах высших фуллеренов с большим числом (30—32) атомов хлора те из них, которые находятся в соседних (*орто*-) положениях, образуют протяженные цепи, оставляя свободными аро-

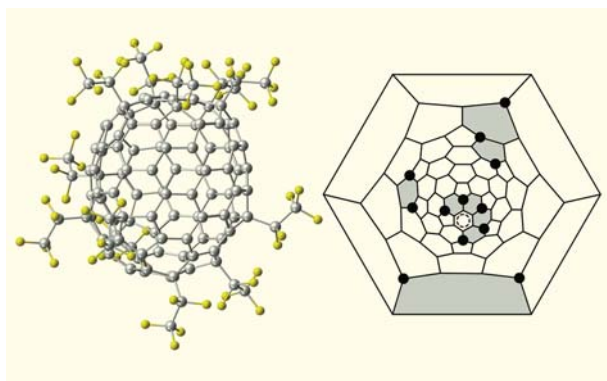


Рис.9. Проекция и диаграмма Шлегеля молекулы $C_{96}(145)(C_2F_5)_{12}$. На диаграмме положения групп C_2F_5 отмечены темными кружками; *пара*-гексагоны $C_6(C_2F_5)_2$ закрашены серым.

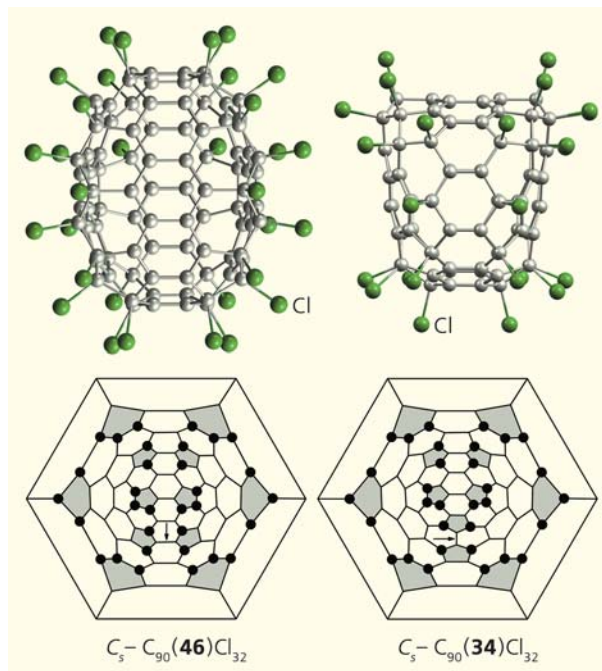


Рис.10. Проекция и диаграммы Шлегеля изомеров $C_5-C_{90}(46)Cl_{32}$ и $C_5-C_{90}(34)Cl_{32}$. На диаграммах позиции атомов хлора показаны черными кружками, ароматические плоские фрагменты закрашены серым, стрелками отмечены различия в топологии каркасов изомеров.

матические плоские фрагменты на каркасе. Характерный пример — два изомера: $C_5-C_{90}(46)Cl_{32}$ и $C_5-C_{90}(34)Cl_{32}$ (рис.10), отличающиеся топологией каркасов [8].

Высшие фуллерены могут служить хорошим контейнером для различных атомов и кластеров. Каркасы именно этих фуллеренов имеет подавляющее большинство эндоэдральных соединений. Сейчас уже изучена структура более 40 высших фуллеренов и их производных. Последние достижения в этой области достаточно полно освещены в литературе [см., напр., 9].

Фуллерены со смежными пентагонами

Изомеры, не подчиняющиеся правилу изолированных пятиугольников, исключительно интересны для исследований. До последнего времени эти фуллерены были недоступны из-за того, что при обычном синтезе образуются более устойчивые формы с изолированными пентагонами. Однако и лабильные соединения можно получить — сразу в виде тех или иных производных. К настоящему времени разработаны принципы стабилизации фуллеренов со смежными пятиугольниками посредством инкапсулирования атомами металла и за счет внешних аддендов. Оказалось, что получаемые производные могут быть даже стабильнее,

чем аналогичные соединения с изолированными пентагонами.

Фуллерены немного крупнее C_{60} , но заведомо имеющие смежные пятиугольники в каркасе, были впервые обнаружены и охарактеризованы при исследовании молекул $Sc_2@^{4348}C_{66}$ и $Sc_3N@^{6140}C_{68}$. Число топологий каркаса, включая варианты и со смежными, и с изолированными пентагонами, огромно (знак # и число в верхнем индексе указывает номер фуллеренового каркаса в атласе фуллеренов [6]). Так, для C_{60} их 1812; для C_{66} — 4478; для C_{68} — 6332; для C_{70} — 8149. Фуллерены C_{66} и C_{68} в принципе не имеют изомеров, подчиняющихся правилу изолированных пентагонов. Причину стабилизации этих каркасов в эндоэдральных соединениях связывают с переносом заряда с атомов металла на атомы углерода в каркасе. Как выяснилось позднее, стабилизация таких каркасов может быть достигнута и с помощью внешнесферных заместителей. Один из наиболее ярких (но еще не реализованных) примеров — молекула $^{1784}C_{60}F_{48}$ [10], которую интересно сопоставить с молекулой изученного фторида $^{1812}C_{60}F_{48}$ (рис.11). Каркас этой молекулы содержит 12 изолированных пентагонов, а строение двух изомеров $C_{60}F_{48}$ (с симметрией D_3 и S_6) подтверждено рентгеноструктурным анализом. Углеродный же каркас гипотетической молекулы $^{1784}C_{60}F_{48}$ содержит шесть пар смежных пентагонов и гораздо менее устойчив по сравнению с каркасом $^{1812}C_{60}$. Однако фторпроизводное $^{1784}C_{60}F_{48}$, по теоретическим расчетам, оказывается более чем на 500 кДж/моль стабильнее $^{1812}C_{60}F_{48}$. Такое «обращение» устойчивости может происходить и в других молекулах, особенно среди высших фуллеренов. Но, несмотря на энергетическую выгодность некоторых производных со смежными пентагонами в каркасе, образование таких изомеров до недавнего времени экспериментально зафиксировано не было, поскольку преобразование каркаса требует значительной энергии активации. Тем не менее такие

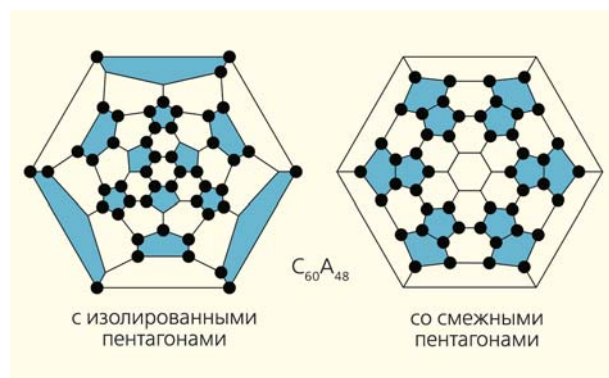


Рис.11. Диаграммы Шлегеля изомеров $^{1812}C_{60}F_{48}$ и $^{1784}C_{60}F_{48}$. В отличие от изолированного положения пентагонов (выделены голубым) в каркасе обычного C_{60} (#1812), в каркасе #1784 имеется шесть пар смежных пентагонов.

изомеры в обилии наблюдаются в масс-спектрах при лазерном испарении углерода. Следовательно, проблема получения связана с повышенной химической активностью, вызванной наличием смежных пентагонов.

Первые эксперименты по направленной внешнесферной стабилизации фуллеренов со смежными пятиугольниками были выполнены лишь в 2004 г. Напомним: испарение графита в дуговом разряде — основной метод синтеза как фуллеренов, так и их эндоэдральных производных. В последнем случае в графит вводят оксиды металлов, а в атмосферу реактора — азот, и получают кластерные металл-нитридные эндоэдральные фуллерены. Оказалось, что сходный метод пригоден и для синтеза экзоэдральных производных, если в буферный инертный газ (гелий) добавить определенное газообразное вещество. Так, если в реактор введены CCl_4 , Cl_2 или CH_4 , то в дуговом разряде образуются атомы хлора или водорода. Они-то и реагируют с фуллеренами непосредственно в процессе построения углеродных каркасов или сразу после их формирования, когда неустойчивые изомеры или их предшественники еще не успевают разрушиться или изомеризоваться. Первым в подобных условиях был выделен и охарактеризован хлорид $^{271}C_{50}Cl_{10}$ [11]. В этой молекуле есть пять пар смежных пентагонов, а места их сочленения стабилизированы 10 атомами хлора (рис.12).

Затем электродуговым синтезом в присутствии четыреххлористого углерода был получен $^{1809}C_{60}Cl_8$ — октахлорид изомера C_{60} с двумя парами смежных пентагонов. Энергия молекулы этого производного существенно ниже, чем молекулы октахлорида обычного изомера $^{1812}C_{60}$, содержащего изолированные пентагоны, который и образуется при прямом хлорировании. После этого успеха количество синтезированных стабильных производных фуллеренов с различным числом смежных пятиугольников в каркасе стало увеличиваться довольно быстро [12].

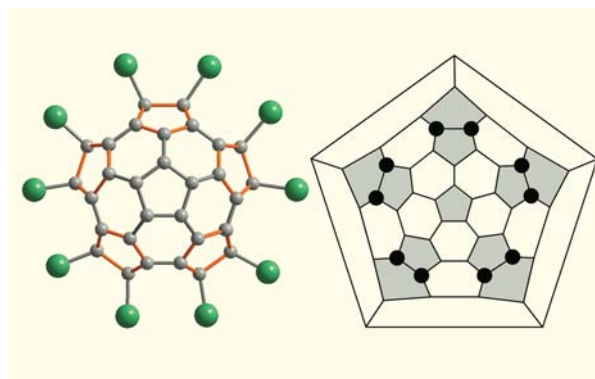


Рис.12. Проекция и диаграмма Шлегеля молекулы $^{271}C_{50}Cl_{10}$. На диаграмме хорошо видны пять пар смежных пентагонов (выделены серым) и места их сочленения, стабилизированные 10 атомами хлора.

Скелетные перегруппировки

Каркасные превращения, затрагивающие топологию углеродного каркаса, можно осуществить с участием аддендов. Такие преобразования могут происходить за счет

- разрыва одной или нескольких связей между атомами углерода (и тогда образуются фуллероиды — открытые изомеры),
- переориентации связей каркаса, приводящей к новому изомеру, с другим взаимным расположением пентагонов и гексагонов.

Процессы раскрытия фуллереновой сферы изучены достаточно хорошо. Известно, например, как это происходит в реакциях циклоприсоединения нитренов, карбенов, диазосоединений, азидов, диенов. Между пента- и гексагонами или между двумя гексагонами фуллерена С–С-связи разрываются, поскольку внедряется какая-либо мостиковая группа и образуются [5,6]- и [6,6]-открытые изомеры, правда, в подавляющем большинстве случаев только как примеси к основному продукту.

Тем не менее особенностям синтеза и строения, а также теоретическим исследованиям механизмов образования продуктов с открытым строением посвящено много работ. Гораздо менее изучены скелетные перегруппировки с изменением топологии углеродного каркаса при сохранении его целостности. Долгое время считалось, что взаимные превращения фуллереновых изомеров одного состава возможны исключительно в ходе высокотемпературного синтеза. Благодаря этому получают устойчивые каркасы с изолированными пентагонами. Наиболее вероятным механизмом подобных перестроек, как полагают, служит перегруппировка Стоуна—Вэйлза. Она происходит во фрагменте, состоящем из двух пятиугольных и двух шестиугольных циклов, и заключается в повороте центральной связи на 90° (рис.13).

Перегруппировка Стоуна—Вэйлза в фуллеренах оставалась предметом исключительно теоретических представлений, пока в 2009 г. не удалось осуществить ее экспериментально. Фуллерен D_2-C_{76} с изолированными пентагонами в каркасе был

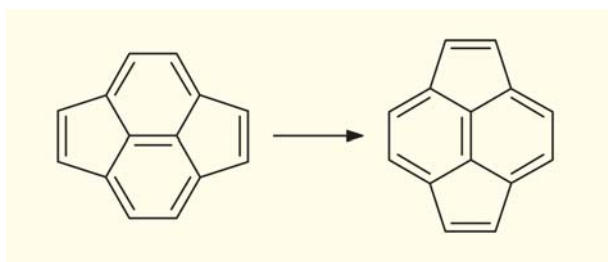


Рис.13. Перегруппировка Стоуна—Вэйлза. Поворот центральной связи на 90° сопровождается разрывом четырех прилегающих связей и образованием четырех новых, при этом пентагоны и гексагоны меняются местами.

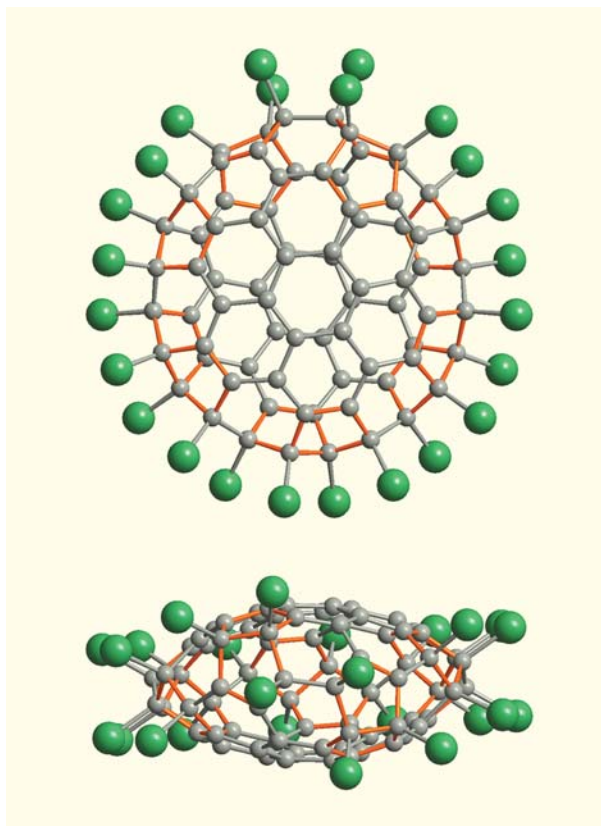


Рис.14. Молекулярная структура $^{18917}C_{76}Cl_{24}$ в двух проекциях. Этот изомер с пятью парами смежных пентагонов образовался при хлорировании фуллерена D_2-C_{76} с изолированными пентагонами в каркасе. Такое превращение произошло самопроизвольно и без разрушения каркаса. Атомы хлора представлены в виде зеленых сфер, связи в пентагонах выделены оранжевым цветом.

подвергнут хлорированию в сравнительно мягких условиях — с помощью пентахлорида сурьмы при $340^\circ C$ [13]. Рентгеноструктурное исследование продуктов хлорирования засвидетельствовало образование изомера $^{18917}C_{76}Cl_{24}$ с пятью парами смежных пентагонов (рис.14). Изомеризация исходного фуллеренового каркаса произошла самопроизвольно и без разрушения каркаса.

Мы провели расчеты методом функционала плотности* обоих изомеров — исходного $^{19150}C_{76}$ и образовавшегося в процессе реакции, а также молекул их хлоридов состава $C_{76}Cl_{24}$. Как и следовало ожидать, исходный изомер $^{19150}C_{76}$ оказался намного устойчивее $^{18917}C_{76}$. Однако хлорирование полностью обратило стабильность. Хлорид экспериментально выделенного фуллерена ($^{18917}C_{76}Cl_{24}$) устойчивее исходного ($^{19150}C_{76}Cl_{24}$). Это объясняется тем, что сильные стерические напряжения каркаса $^{18917}C_{76}$ в местах сочленения смежных пяти-

* Метод функционала плотности — метод расчета электронной структуры систем многих частиц в квантовой химии.

угольников устраняются за счет присоединения в эти положения атомов хлора. Благодаря этому средняя энергия связей атомов хлора с углеродным каркасом в $^{18917}\text{C}_{76}\text{Cl}_{24}$ оказывается намного выше, чем в $^{19150}\text{C}_{76}\text{Cl}_{24}$.

Рассмотрев возможные механизмы образования $^{18917}\text{C}_{76}\text{Cl}_{24}$ из $^{19150}\text{C}_{76}\text{Cl}_{24}$, мы выяснили, что превращение включает семь перегруппировок Стоуна—Вэйлза и, кроме того, миграцию нескольких атомов хлора по углеродному каркасу. Оказалось, что существуют такие последовательности стадий, для которых каждый шаг выгоден термодинамически. Лимитирует самая первая стадия, наименее экзотермичная, энергия активации которой, согласно расчетам, оценивается в 2,5 эВ. Снижение активационного барьера перегруппировки (он равен 6 эВ в изолированной молекуле фуллера) достигается за счет хлорирования и участия в процессе хлорида сурьмы.

Итак, хлорирование высших фуллеренов может сопровождаться удивительными превращениями углеродного каркаса. Вскоре после изучения изомеров $^{19150}\text{C}_{76}\text{Cl}_{24}$ и $^{18917}\text{C}_{76}\text{Cl}_{24}$ мы обнаружили вторую, не менее удивительную трансформацию каркаса при хлорировании. Напомним: большинство классических фуллеренов состоит из пентагонов и гексагонов, а неклассические содержат и другие полигоны. Одни из них — гептагоны. Их роль обсуждалась в литературе, но экспериментально они были обнаружены лишь в соединениях $\text{C}_{58}\text{F}_{18}$ и $\text{C}_{58}\text{F}_{17}(\text{CF}_3)$. Первое прямо доказательство образования гептагона в фуллереновом каркасе, основанное на рентгеноструктурных данных, мы получили совсем недавно [14]. При хлорировании C_{86} с помощью четыреххлористого ванадия VCl_4 образовались два типа кристаллов. Один тип, как следует из результатов рентгеноструктурного анализа, соответствует хлориду исходного фуллера $\text{C}_{86}(\mathbf{16})\text{Cl}_{28}$ с 12 пентагонами, а другой — соединению $\text{C}_{84}\text{Cl}_{32}$, в углеродном каркасе которого содержатся гептагон и 13 пентагонов.

В каркасах хлоридов $\text{C}_{84}\text{Cl}_{32}$ и $\text{C}_{86}(\mathbf{16})\text{Cl}_{28}$ много общего, поэтому, чтобы образовался неклассический каркас C_{84} , необходимо удалить из молекулы $\text{C}_{86}(\mathbf{16})\text{Cl}_{28}$ фрагмент C_2 в кораннуленовом* участке каркаса (рис.15). Для образования молекулы $\text{C}_{84}\text{Cl}_{32}$ помимо выброса фрагмента C_2 достаточно переместить два и присоединить еще четыре атома хлора. При этом из 32 атомов хлора в новой молекуле 26 остались на прежних местах. В целом мотивы расположения атомов хлора и «вырезаемых» ими ароматических подструктур на углеродном каркасе сохраняются такими же, как в исходной молекуле $\text{C}_{86}(\mathbf{16})\text{Cl}_{28}$. Однако кораннуленовый участок каркаса преобразуется в более ароматическую и плоскую систему с одним гептагоном, двумя пентагонами и двумя гексагонами.

* Кораннулен — молекула, содержащая пентагон, окруженный пятью гексагонами.

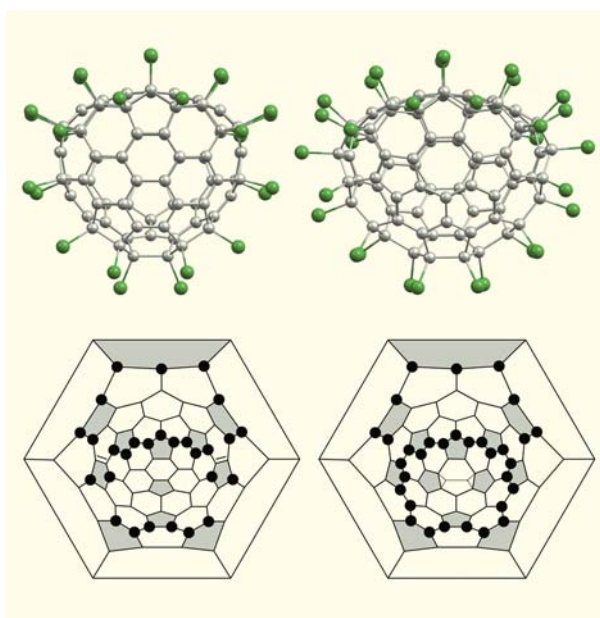


Рис.15. Молекулярные структуры и диаграммы Шлегеля соединений $\text{C}_{86}(\mathbf{16})\text{Cl}_{28}$ и $\text{C}_{84}\text{Cl}_{32}$. Положения атомов хлора обозначены на диаграмме черными кружками, пунктиром показаны связи двух удаленных атомов углерода. Видно, что после удаления фрагмента C_2 и замыкания двух пентагонов образуется семичленный цикл, а пентагонов становится на один больше — 13 вместо 12.

* * *

Огромное число фуллеренов, не подчиняющихся правилу изолированных пятиугольников и труднодоступных из-за химической активности, представляют собой новый и на редкость интересный объект исследования. Скелетные перегруппировки при химическом воздействии прежде едва ли представлялись возможными. Теперь благодаря их открытию химия фуллеренов приобрела мощный импульс развития, получив в распоряжение неклассические молекулы, которые строением и свойствами заметно отличаются от традиционных фуллеренов с изолированными пентагонами. Экспериментальное обнаружение перегруппировок Стоуна—Вэйлза в C_{76} было неожиданным. А за ним последовало открытие процессов удаления фрагмента C_2 в каркасе C_{86} , причем в сравнительно мягких условиях. В обоих случаях образовывались крайне необычные структуры, которые отсутствуют среди продуктов электродугового синтеза фуллеренов. Это были молекулы с несколькими парами соседствующих пятиугольников (C_{76}) или даже с семичленным циклом (C_{84}). К настоящему времени мы получили предварительные данные о существовании аналогичных перегруппировок и в других высших фуллеренах — C_{82} , C_{88} , C_{90} . Однако следует признать, что исследование скелетных превращений находится лишь в самой начальной стадии. Поэтому главным становится поиск таких методов преобразования

фуллереновой клетки, которые позволили бы распространить каркасные превращения на еще более широкий круг молекул.

Уже сейчас очевидно, что при скелетной перегруппировке происходит внешнесферная миграция аддендов и деформация углеродного каркаса. В результате этого единого процесса удается осуществить переход от менее стабильного соединения с изолированными пентагонами в каркасе к более устойчивому, содержащему смежные пентагоны. Такие каркасы сами по себе неустойчивы, но после присоединения экзоэдральных аддендов молекулы приобретают даже большую стабильность, чем подобные производные фуллеренов с изолированными пентагонами. Здесь проявля-

ется еще одна интересная особенность: повышенная энергия связи аддендов обуславливает более высокую химическую и термическую устойчивость, чем у традиционных соединений с изолированными пентагонами. Нельзя исключить и особых электронных свойств самих фуллеренов со смежными пятиугольными циклами. В связи с этим возникает задача удалять адденды из молекул получаемых соединений, не разрушая каркас. Вообще ближайшей целью становится разработка способов контролируемого присоединения и удаления аддендов. Поведение новых необычных углеродных каркасов пока остается еще не вполне предсказуемым, а значит, мы многое можем узнать, продолжая исследования. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 09-03-00353 и 09-03-00433.

Литература

1. Kroto H.W., Heath J.R., O'Brien S.C., Curl R.F., Smalley R.E. C₆₀: Buckminsterfullerene // Nature. 1985. V.318. P.162, 163.
2. Krätschmer W., Lamb L.D., Fostiropoulos K., Huffman D.R. Solid C₆₀: a new form of carbon // Nature. 1990. V.347. P.354—358.
3. Сидоров Л.Н., Юровская М.А., Борщевский А.Я. и др. Фуллерены. М., 2005.
4. Gakh A.A., Tuinman A.A. «Fluorine Dance» on the fullerene surface // Tetrahedron Lett. 2001. V.42. C.7137—7139.
5. Троянов С.И., Шустова Н.Б., Попов А.А., Сидоров Л.Н. Синтез и строение хлоридов фуллерена C₆₀ // Изв. АН. Сер. хим. 2005. №7. С.1608—1618.
6. Fowler P.W., Manolopoulos D.E. An Atlas of Fullerenes. Oxford, 1995.
7. Tamm N.B., Sidorov L.N., Kemnitz E., Troyanov S.I. Crystal structures of C₉₄(CF₃)₂₀ and C₉₆(C₂F₅)₁₂ reveal the cage connectivities in C₉₄(61) and C₉₆(145) fullerenes // Angew. Chem. Int. Ed. 2009. V.48. P.9102—9104.
8. Kemnitz E., Troyanov S.I. Connectivity patterns of two C₉₀ isomers provided by the structure elucidation of C₉₀Cl₃₂ // Angew. Chem. Int. Ed. 2009. V.48. P.2584—2587.
9. Тамм Н.Б., Сидоров Л.Н., Троянов С.И. Исследования в области высших фуллеренов // Вестн. Моск. ун-та. Сер.2, химия. 2009. Т.50. №6. С.411—427.
10. Tan Y.-Z., Xie S.-Y., Huang R.-B., Zheng L.-S. The stabilization of fused-pentagon fullerene molecules // Nature Chem. 2009. V.1. P.450—460.
11. Zettergren H., Alcamí M., Martín F. Stable non-IPR C₆₀ and C₇₀ fullerenes derivatives containing a uniform distribution of pyrenes and adjacent pentagons // ChemPhysChem. 2008. V.9. №6. P.861—866.
12. Xie S.-Y., Gao F., Lu X. et al. Capturing the labile fullerene[50] as C₅₀Cl₁₀. // Science. 2004. V.304. P. 699.
13. Ioffe I.N., Goryunkov A.A., Tamm N.B., Sidorov L.N., Kemnitz E., Troyanov S.I. Fusing pentagons in a fullerene cage by chlorination: IPR D₂-C₇₆ rearranges into non-IPR C₇₆Cl₂₄ // Angew. Chem. Int. Ed. 2009. №48. P.5904—5907.
14. Ioffe I.N., Chen C., Yang S., Sidorov L.N., Kemnitz E., Troyanov S.I. Chlorination of C₈₆ to C₈₄Cl₃₂ with nonclassical heptagon-containing fullerene cage formed by cage shrinkage // Angew. Chem. Int. Ed. 2010. V.49. P.4784—4787.

Полярные пустыни: на пределе жизни

Ю.И.Чернов, Н.В.Матвеева, О.Л.Макарова

Жизнь в экстремальных условиях (будь то предельные на земном шаре высоты суши или глубины океанов, максимальные или минимальные температуры, недостаток влаги или специфичность грунтов) — своего рода «острый» эксперимент в природе и объект пристального внимания биологов. Один из таких объектов — феномен существования организмов в крайне суровых условиях полярных пустынь Северного полушария*. Даже название этих приполюсных ландшафтов, не говоря уж об их границах и зональном статусе, многие годы вызывает дискуссии как среди отечественных, так и среди зарубежных ученых.

В первой половине XX в. известный немецкий географ З.Пассарге называл подобные территории холодными пустынями [1], а классик русского тундроведения Б.Н.Горюнов — арктическими. Выделение их в самостоятельную природную зону последовательно отстаивали выдающиеся исследователи Крайнего Севера В.Д.Александрова [2] и Е.С.Короткевич [3]. Однако и отечественные, и зарубежные специалисты не сразу признали зональный статус полярных пустынь. Известный географ А.Г.Исаченко относил ледниковые и полярно-пустынные ландшафты

* В Антарктике зональных (плакорных) аналогов полярных пустынь практически нет.

© Чернов Ю.И., Матвеева Н.В., Макарова О.Л., 2011



Юрий Иванович Чернов, академик, главный научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова. Область научных интересов — экология и биогеография. Автор более 200 научных публикаций, в том числе монографий «Природная зональность и животный мир суши» (1975), «Структура животного населения Субарктики» (1978), «Жизнь тундры» (1980).

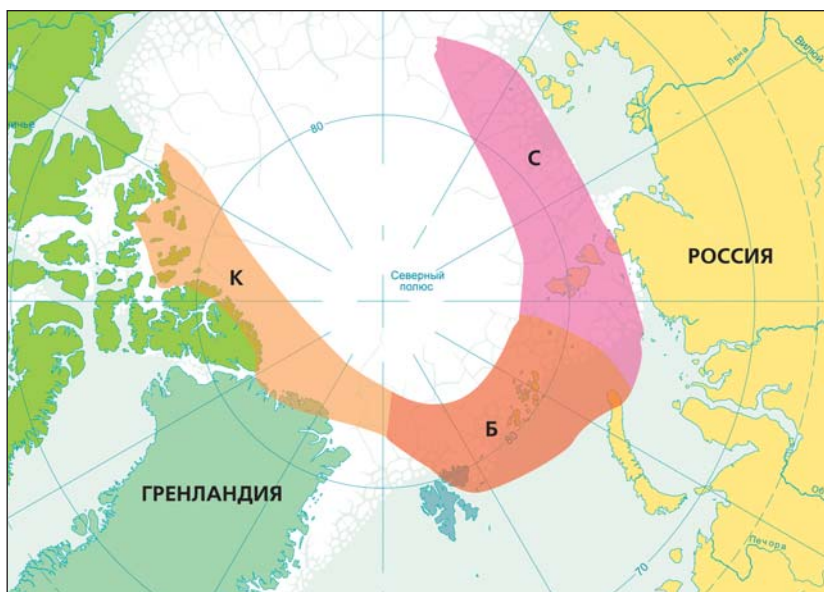


Надежда Васильевна Матвеева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Ботанического института им.В.Л.Комарова РАН. Автор более 100 публикаций, в том числе монографии «Зональность в растительном покрове Арктики» (1998). Область научных интересов — структура и классификация растительности Арктики.



Ольга Львовна Макарова, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией синэкологии Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова. Область научных интересов — почвенная зоология, экология и систематика клещей. Автор более 60 работ, в том числе двух каталогов и определителя клещей.

к особому подтипу наряду с аркто-, типично- и южнотундровыми (подзонами тундр в современном понимании). Крупнейший знаток арктической флоры Б.А.Юрцев придавал этим территориям ранг высокоарктической подзоны тундр. Американские тундроведы при делении Арктики лишь на высокую (high) и низкую (low) включали в первую помимо полярных пустынь еще и северную по-



Полярные пустыни в Северном полушарии [2]. Геоботанические провинции: Б — Баренцевская, С — Сибирская, К — Канадская. Схема приведена с некоторыми изменениями в соответствии с циркумполярной картой растительности [5].



Авторы (Ю.И.Чернов и Н.В.Матвеева) на северной оконечности Евразии (мыс Челюскин, 1974 г.).

лосу тундр (подзону арктических тундр в отечественной типологии).

На примере почв зональный статус полярных пустынь обосновал американский ученый Д.Тед-ров [4], к которому со временем присоединились и западные ботаники. С другой стороны, в эту природную зону включали территории, где крайняя разреженность растительного покрова связана не с макроклиматом, а с локальными особенностями почв или рельефа — эдафическими (от греч. *εδαφος* — почва) или орографическими (от греч. *ορος* — гора) факторами. Например, из островов Канадского арктического архипелага к ней относили о.Девон, где сообщества полярно-пустынного типа развиты на повышенном плато, занимающем большую часть острова, и о.Корнуоллис, где разреженный растительный покров обусловлен преобладанием щебнистых россыпей базальтов, на которых растут виды, обычные для южных районов тундр.

Споры о названиях и зональном делении северных ландшафтов возобновились в последнее десятилетие, когда ученые из семи стран создавали циркумполярную карту растительности Арктики [5]. Поскольку прийти к единому мнению так и не удалось, было решено все пять выделенных на карте зон к северу от границы леса просто пронумеровать, при этом зона 1 обозначена как полярные пустыни.

Итак, полярные пустыни — самая малая по площади (всего 160 775 км², из них более 60 000 км² занято покровными ледниками) природная зона с крайне разреженным растительным покровом и ограниченным таксономическим раз-

нообразием. Развиты полярно-пустынные сообщества в основном на островах Арктического бассейна и лишь в одном месте на материке — на севере Таймыра. В пределах зоны выделены три геоботанические провинции [2].

В Баренцевскую провинцию входят о.Северо-Восточная Земля в архипелаге Шпицберген, примыкающие к нему Земля Короля Карла и о.Белый, а также о.Виктория, архипелаг Земля Франца-Иосифа, северная часть Северного острова Новой Земли и три острова (Визе, Ушакова, Уединения) в Карском море. Особенность провинции — самое северное положение и наибольшая удаленность от материка. Ее небольшая (около 36 500 км²) территория на 77% покрыта льдом. Для развития полярно-пустынных сообществ пригодно немногим более 80 00 км².

В Сибирскую провинцию входят архипелаг Северная Земля, о-ва Де Лонга и север п-ова Челюскин на Таймыре, в том числе мыс Челюскин — самая северная (77°43'с.ш.) точка материковой суши мира. Присутствие полярно-пустынных сообществ на севере Таймыра обеспечивает единственный в мире непрерывный переход от границы леса к зоне полярных пустынь. При незначительно большей (около 42 200 км²) площади Сибирской провинции по сравнению с Баренцевской, поверхность свободной от ледников суши в ней почти втрое больше (24 760 км²).

В Канадскую провинцию входят девять северо-западных островов Королевы Елизаветы Канадского Арктического архипелага (Амунд-Рингнес и Элlef-Рингнес, Борден, Брок, Кинг-Кристиан, Лохид, Макензи-Кинг, Мийен, Эмеральд),



Полярная станция на о.Хейса (Земля Франца-Иосифа).

Фото И.Ю.Кирцидели

а также северные или северо-западные побережья островов Принс-Патрик, Мелвил, Аксель Хайберг, Элсмир. К той же провинции отнесена лишённая покровного оледенения северная часть Земли Пири на севере Гренландии. Суша провинции — 73 300 км².

Южнее границы зоны полярных пустынь на платообразных поднятиях развиты их высотные

аналоги. Они весьма точно «копируют» структуру специфичных зональных почвогрунтов, растительных и животных группировок. Примерами могут служить ландшафты на высотах от 400 до 900 м над ур.м. на плато островов Девон и Элсмир Канадского арктического архипелага и от 700 до 1000 м — на плато Путорана (север Средней Сибири).



Долины рек Студеная (слева) и Лагерная на о.Большевик.



Здесь и далее фото авторов

Климат

Из всех климатических параметров для видового разнообразия и продуктивности экосистем в высоких широтах важнее всего тепловые условия в период вегетации растений. В полярных пустынях положительная среднемесячная температура воздуха бывает только в июле и августе. На островах Земли Франца-Иосифа средние температуры июля 0,5–1,5°C, на мысе Челюскин и о.Большевик — до 2,0°C, на о.Эллеф-Рингнес — 3,6°C и на севере о.Элсмир — 4,1°C. Но это — температуры воздуха на высоте 1,3 м (уровень метеобудки), а для жизнедеятельности растений, грибов и почвенных беспозвоночных важны температуры воздуха до 10 см и в поверхностном слое почвы, где они на 2–3°C выше. Максимальные же температуры (до 13°C) бывают лишь несколько часов в течение 1–2 сут. До середины июля при температуре воздуха немногим выше 0°C верхние горизонты почвы остаются не только холодными, но и сырыми. По мере высыхания грунта, его оттаивания и снижения уровня мерзлоты (до 40 см к первой декаде августа) в ясные солнечные дни поверхностный слой почвы теплее воздуха на 4°C, но в обычные летом облачные дни эта разница не более 2°C. В течение обоих летних месяцев случаются и заморозки.

Зимние изотермы в Палеарктике тянутся преимущественно в меридиональном направлении, поэтому самая холодная зима — не на островах Северного Ледовитого океана, а в континентальных районах Сибири. Средние температуры января сходны во всех секторах Арктики от полярных пустынь (–20...–29°C) до лесотундры (–18...–36°C). Лишь в Баренцевоморском секторе благодаря Гольфстриму они могут быть около –15°C. Хотя в течение долгой полярной зимы холоднокровные (пойкилотермные) организмы находятся в покое, уровень температур в это время все же важен, так как от него зависит степень промерзания верхних горизонтов почвы.



Моховой покров в местах с постоянным подтоком талых вод на о.Большевик.

В полярных пустынях, как и в аридных, мало осадков: в евразийских секторах 250–300, а в Канадском еще меньше — 50–150 мм в год. До 70% осадков выпадает зимой, но обильные снегопады возможны даже во второй половине августа. Устойчивый снежный покров устанавливается в первой декаде сентября, максимальный — в марте–апреле. Однако лишь в углублениях рельефа снег накапливается до 2–3 м. На водоразделах его глубина менее 20 см, а на выпуклых элементах ландшафта из-за сильных ветров его почти нет до февраля, что пагубно для всех организмов. Снежный покров разрушается только к концу первой декады июля, к августу растаивают неглубокие снежники, и на их месте формируются особые, нивальные (от лат. *nivalis* — снежный, холодный), сообщества с вегетационным периодом всего 30 дней. Но есть и такие участки, где снег, если и тает, то только в самые теплые годы.

Летом очень часты туманы и высока влажность воздуха, поэтому испаряемость снижена, что в со-



Разгар лета на о.Большевик. Снежник (слева), не тающий даже в самые теплые годы, и семья бургомистра.

четании с низкими температурами вызывает у растений эффект физиологической сухости. Летом грунты (особенно щебнистые) бывают не только холодными, но и сухими, что может быть причиной разреженности растительного покрова. Однако в местах подтока талых вод на подгорных шлейфах и в ложбинах стока формируется сомкнутая моховая дернина. Собственно «лето» — время вегетации, цветения растений, роста и размножения пойкилотермных животных — длится около 50 дней (примерно с 5 июля по 25 августа). Холодная и пасмурная погода с частыми туманами, периодическими заморозками и выпадением снега в вегетационный период определяет низкую интенсивность всех биологических процессов (сдерживает деятельность автотрофов, снижает биологическую продуктивность, подавляет интенсивность питания гетеротрофов), тормозит процессы деструкции и почвообразования.

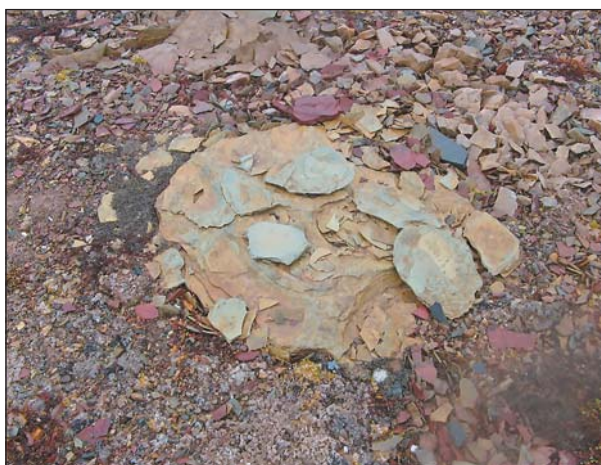
Ландшафт

Само слово «пустыня» в названии зоны (как и в случае «жарких» пустынь) отражает основную черту ее ландшафта. Хотя голые грунты есть и в тундре, их суммарная площадь там значительно меньше. В так называемых пятнистых тундрах, развитых по краям водораздельных увалов и на выпуклых элементах рельефа в южной и средней частях тундровой зоны, пятна голого грунта, занимающие не более 30% площади, периодически зарастают и вновь возникают. В арктических тундрах лишённые растительности участки занимают примерно половину площади. В полярных пустынях, где сомкнутость растительного покрова не более 20%, а нередко и менее 5%, голые грунты преобладают даже в оптимальных условиях суглинистых плакоров (от греч. *πλακος* — плоскость, равнина) — ровных поверхностей, достаточно хорошо дренированных летом и укрытых снегом зимой.



Голые грунты в полярных пустынях.

Причина появления оголенных ландшафтов — криогенные процессы, идущие в активном слое почвы. В результате растрескивания грунта на полигонах и морозной сортировки частиц (мелкие остаются в центре полигонов, крупные отесня-



Полигоны, возникшие при сортировке (слева) и разрушении крупных камней.



Трещины в грунте: временные (слева), существующие только летом, и постоянные, заполненные растительной дерниной.

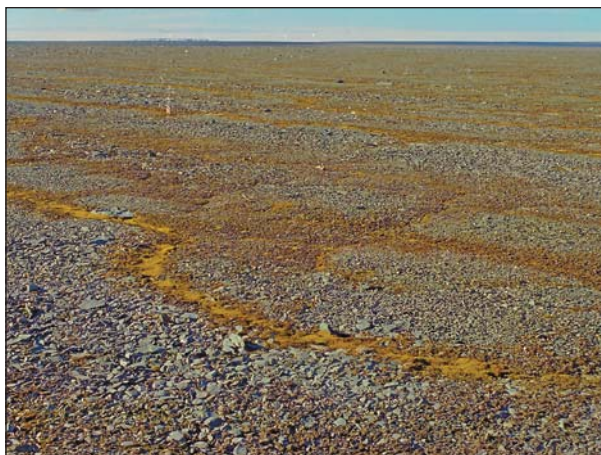


Полигональные сообщества с лишайниками: *Thamnolia vermicularis* (слева) и *Cetrariella delisei*.

ются на периферию) формируются так называемые структурные грунты [6]. Самые распространенные их формы — круги, полигоны и переходные между ними «сети». Преобладают правильные пятиугольные полигоны, реже встречаются шестиугольные и округлые формы. В Арктике структурные грунты развиты повсеместно, но наиболее эффектно и разнообразно они в полярных пустынях. Полигональная структура может образоваться при разрушении крупных камней и на суглинистых поверхностях под водой. На суглинках трещины, не заполненные дерниной, смыкаются весной во время таяния снега или осенью после затяжных дождей и появляются в середине короткого лета, когда грунт пересыхает. В результате жизнедеятельности организмов (мелких мхов, печеночников, накипных лишайников, почвенных микромицетов, зеленых водорослей и цианобактерий, а также некоторых сосудистых растений) поверхность грунта стабилизируется, растительность постепенно заполняет трещины, и они перестают смыкаться. Но зависимость структуры

растительного покрова от рисунка грунтов сохраняется. Из-за различной окраски заполняющих трещины бриофитов и лишайников сходные по пространственной организации сообщества выглядят по-разному. Размеры полигонов варьируют от нескольких сантиметров до 10 м в поперечнике. На суглинистых плакорах наиболее обычны полигоны размером 0.3—0.5 м., на щебнистых выходах — от 1 до 3 м. На склонах — это уже не полигоны, а полосы разной ширины, разделенные трещинами. Таким образом, структура растительности в деталях отражает характер физических процессов в почве. Об их силе красноречиво свидетельствуют вертикально стоящие камни, выдавленные из глубин грунта.

Характерен еще один тип структуры растительности — куртинный, обусловленный способностью многих растений формировать кочки, подушки, куртины и шпалеры. Такие жизненные формы нередко образуют виды, у которых в тундре развиваются лишь одиночные генеративные побеги (у сосудистых), единичные «стебельки»



Полигоны разных размеров: от 0,5 м (слева) до 1—3 м в диаметре.



Куртинное сообщество (слева) и отдельная кочка, состоящая из десятков видов растений, на о. Большевик.

(у мхов) и «веточки» (у лишайников). Полусферическая форма оптимальна не только для индивидуального, но и для совместного выживания: например, в подушке диаметром 15 см мы находили до 37 видов растений.

Разрастаясь, подушки сливаются в полосы, дуги и, наконец, в замкнутые сети. Но и эти небольшие фрагменты покрова могут быть разрушены вновь образующимися трещинами или перенасыщенным водой грунтом, медленно стекающим по поверхности вечной мерзлоты.

В интразональных условиях в долинах ручьев, на шлейфах гор с подтоком воды мохообразные образуют сомкнутые покровы разных цветов: зеленые (*Grimmia torquata*), серые (*Racomitrium lanuginosum*), красные (*Bryum cryophilum*). На о. Большевик обширные поверхности затянуты тонким коричневым ковром из печеночника *Gymnomitrium corallioides*, в который вкраплены мхи, лишайники, мелкие сосудистые растения. Сплошной покров образуется и в полигональных сообществах при сочетании этого печеночника

на полигонах и мха *Racomitrium lanuginosum* в трещинах. Однако в отдельных крупных подушках мхов нередко наблюдаются признаки деградации: в центре растения начинают отмирать, что свидетельствует о несоответствии подобных структур климатическим условиям.

Поверхности «голых» грунтов в той или иной мере всегда заселены прокариотами, водорослями, микроскопическими грибами. Эти организмы в полярных пустынях изучены еще очень слабо, но уже сейчас известно около 300 видов почвенных микромицетов, водорослей и цианобактерий. Наиболее заметны на оголенных поверхностях разнообразные колонии цианобактерий рода *Nostoc*, которые при высокой влажности набухают в виде слизистых гофрированных и студнеобразных шариков и пленок, а в сухую погоду превращаются в корочки. Сходный облик в набухом состоянии имеют и некоторые слизистые лишайники родов *Collema* и *Leptogium*.

Вся жизнь в полярных пустынях сосредоточена в узком слое у поверхности грунта. Корни сосуди-

стых растений сконцентрированы в самых верхних сантиметрах грунта, их вегетативные органы прижаты к поверхности почвы, и только генеративные побеги поднимаются на высоту до 10–15 см. Мохообразные и лишайники образуют тонкие (от 2 мм до 2 см), очень слабо связанные с грунтом покровы либо дерновины, конусообразно суживающиеся в трещинах. Подобной «сжатости» жизни нет ни в одной другой природной зоне.

Оазисами в пустыне выглядят колонии леммингов, кормовые столики хищных птиц и птичьих базары. В таких зоогенных местообитаниях формируются специфические комплексы членистоногих. Например, там концентрируются до 90% видов клещей конкретного района, что делает их фокусами разнообразия акарофауны.

Флора и фауна

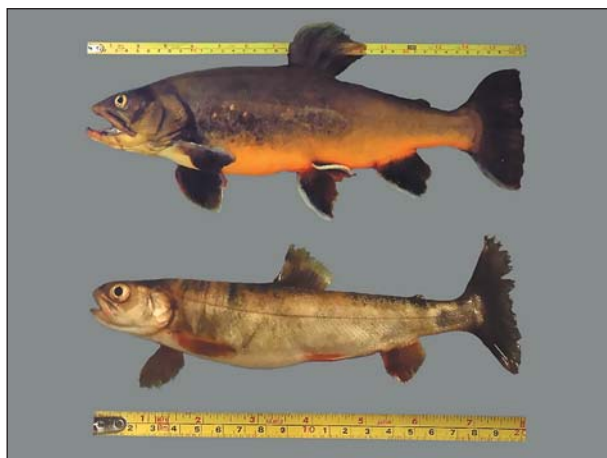
По разным оценкам (фактологическим и экспертным с использованием экстраполяций), во всей Арктике обитает примерно 24 000–26 000 видов, что составляет менее 1% (скорее всего, 0,5–0,7%) от мирового биоразнообразия [7]. Но особенно важно, что в обедненной по таксономическому разнообразию арктической биоте снижен видовой состав самых прогрессивных групп и увеличен — относительно примитивных, занимающих невысокие уровни филогенетической иерархии [7, 8]. И это — яркое проявление одной из важнейших закономерностей глобального широтно-зонального распределения биоразнообразия: при усилении суровости климата снижаются адаптивные возможности и соответственно представленность в биоте максимально продвинутых таксонов.

Предельно суровые условия полярных пустынь накладывают еще большие, а порой и непреодолимые ограничения для развития большинства таксонов. Большая часть родов животных представлена только одним видом. Но при этом могут

действовать механизмы, «компенсирующие» предельное уменьшение видового разнообразия. Так, арктический голец — единственный вид пресноводных рыб, обитающий в озерах Северной Земли. Две его формы, живущие в небольшом озере на о.Большевик, четко различаются и размерами, и формой тела, и пищевыми связями и, по сути, занимают разные экологические ниши [9].

При современном уровне изученности биоты полярных пустынь можно считать, что она включает немногим более десятой части видового разнообразия всей Арктики. Из 75 арктических видов млекопитающих в полярных пустынях живут семь: песец, северный олень, горностай, копытный лемминг, арктический заяц-беляк, белый медведь и полярный волк. Строго говоря, из них постоянным обитателем собственно зональных полярно-пустынных биотопов можно считать лишь копытного лемминга [10]. Этот действительно важный компонент экосистем оказывает заметное влияние на почву и растительность, служит основной пищей для песца, горностая и белой совы, а также некоторых птиц, связанных с морем, таких как белая чайка, бургомистр, поморники. На Северной Земле, где нет сибирского лемминга, копытный лемминг весьма многочислен и политопен, что можно считать проявлением эффекта «расширения» экологических ниш и мультидоминантности [11]. Остальные виды млекопитающих встречаются спорадически.

В полярных пустынях обитают 25 видов птиц (во всей Арктике — 250), самые характерные из них — морской песочник и белая чайка. Жизнь песочника связана не только с морем — в гнездовой период он кормится многочисленными в полярных пустынях ногохвостками и личинками комаров-звонцов. В биологии белой чайки есть нечто общее с образом жизни антарктического снежного буревестника, птенцы которого способны голодать несколько суток в ожидании родителей, улетающих в море за кормом на огромное



Две формы гольца на о.Большевик.



Горностай на о.Эллеф-Рингнес.

расстояние. Белая чайка мало заботится о потомстве, кормит птенцов один-два раза в сутки, а все остальное время они находятся в полусонном состоянии. Здесь очевидно использование в суровых условиях определенных выгод замедленного метаболизма.

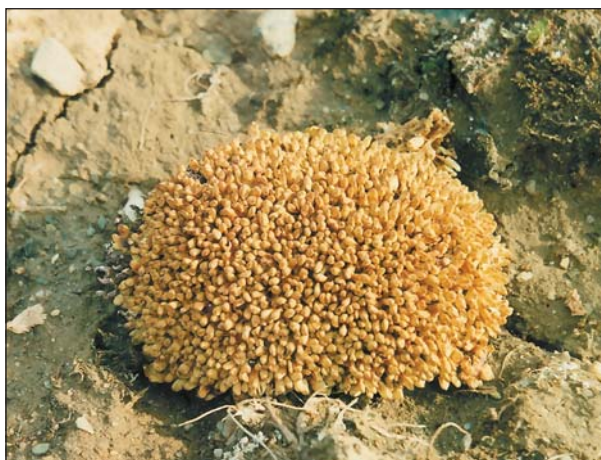
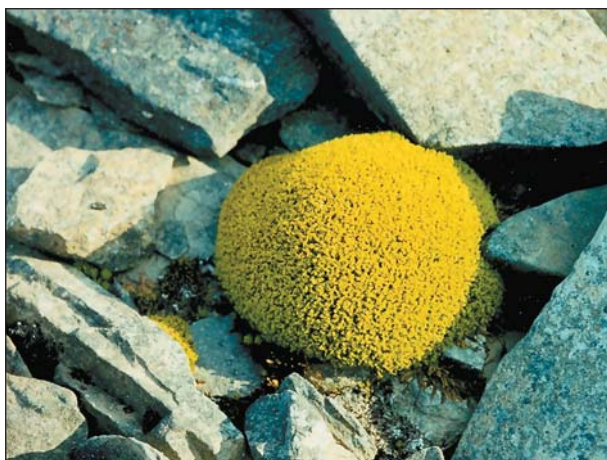
Другие птицы (краснозобая гагара, тундрная куропатка, глупыш, черная казарка, обыкновенная гага, бургомистр, моська, полярная крачка, короткохвостый поморник, люрик, толстоклювая кайра, чистик, кулик песчанка, исландский песочник, белая сова, пуночка, лапландский подорожник) гнездятся в полярных пустынях нерегулярно, непостоянны у них и гнездовые участки. Эти черты, характерные вообще для Арктики, в полярных пустынях выражены особенно резко.

Из 3700 видов класса насекомых всей Арктики в полярных пустынях, по нашим оценкам, обитают менее 200, из 400 видов класса ногохвосток, или коллембол, — 50. Паукообразные представлены примерно 110 видами (в Арктике их на порядок больше), из них лишь около десятка — пауки, остальные — клещи. Таким образом, вся фауна наземных членистоногих полярных пустынь, вероятно, включает не более 400 видов. Ее уникальность — в сравнимом видовом богатстве наиболее древних групп (паукообразных и ногохвосток, с одной стороны, и насекомых — с другой). Во все остальных биомах суши преобладают насекомые, составляющие половину объема общей мировой фауны. Ядро акарофауны полярных пустынь составляют протистические клещи. Эти мелкие, тонкопокровные, всеядные или питающиеся водорослями животные относятся к самым древним линиям паукообразных: уже в девоне они были представлены формами почти современного вида [12]. Максимальной численности в полярных пустынях достигла еще одна группа девонского возраста — ногохвостки, экскременты которых нередко образуют на поверхности голого грунта четкий «почвенный» горизонт.



Копытный лемминг (фото А.Г.Бубличенко) и его гнездо.

Сосудистых растений в полярных пустынях всего 121 вид (в Арктике — около 2000 видов) — примерно столько же видов во флоре любого ландшафта в подзоне арктических тундр на площади всего 25 км² [13]. Крайне обеднен в полярных пус-



Подушки мха *Dicranoweisia crispula* (слева) и лишайника *Dactylina arctica* на о.Большевик.



Ногохвостки на поверхности грунта (о.Большевик).

тнях набор крупнейших семейств: отсутствуют представители бобовых, зонтичных, эрикоидных; единичными экземплярами встречаются немногие виды важнейших в тундровой зоне осок, пушиц, сложноцветных. Большинство (117 из 121) видов имеет зональное арктическое распространение. Нет бореальных и гипоарктических видов, крайне редки полизональные, такие как пушица узколистная. Но нет и многих арктических и арктоальпийских видов, обычных в северной полосе тундр. Эта своего рода арктическая «стерильность» отличает полярные пустыни от зоны тундр, флора которой на всем широтном протяжении, начиная от границы леса, неоднородна. При движении от полярных пустынь на юг сначала добавляются арктические

и арктоальпийские виды, затем, в середине тундровой зоны, — полизональные, гипоарктические и арктобореальные, а на самом юге — и бореальные. В таком контексте тундровая зона по составу сосудистых растений представляет собой экотон между полярными пустынями и лесотундрой.

Сообщества тундр и полярных пустынь различаются и по составу доминантов. В тундрах наряду со мхами преобладают осоки и кустарнички, в полярных пустынях — злаки, ожики и виды разнотравья (камнеломки, крестоцветные, гвоздичные, лютики и особенно мак). Несмотря на скудность и разреженность покрова полярных пустынь, относительное обилие разнотравья делает эти суровые земли более красочными в сравнении с монотонным буро-зеленым растительным покровом тундр, который лишь в середине лета ненадолго оживляют белые цветы куропаточей травы (дриады).

В полярных пустынях уже найдено 355 видов бриофитов (в Арктике 850 видов), в том числе 272 — листостебельных мхов и 83 — печеночников, а также 336 видов лишайников (в Арктике — около 2000 видов) и 100 — живущих на них грибов. С учетом экспертных оценок в этой зоне, возможно, обитает до 1100 видов этих групп. Преобладают виды, широко распространенные не только в Арктике, но и за ее пределами. Полярные пустыни — единственная природная зона, где сосудистые, самая продвинутая и таксономически богатая группа растений, уступают бриофитам и лишайникам: в этой зоне представлено лишь 0.05% видов сосудистых растений мировой флоры, а бриофитов — 1.4% и лишайников — 1.7%.

В полярных пустынях весьма отчетливо проявляется и так называемая экологическая целостность таксонов [14]. Проще всего это явление можно объяснить на примере сосудистых растений: при существенных различиях видового богатства спектр ведущих семейств неизменен независимо от площади: будь то крупный архипелаг или не-



Мак *Papaver polare* (слева) и незабудочник *Eritrichium villosum* на о.Большевик.



Камнеломка *Saxifraga cespitosa* (слева) и лишайник *Thamnia vermicularis* на о.Большевик.

большой остров (тысячи или сотни квадратных километров соответственно), ландшафтный профиль (сотни гектар) или пробная площадка геоботанического описания (25 м²). Однако в составе флоры каждой провинции есть свои особенности: только 48 видов (40%) сосудистых растений — общие для всех трех и примерно столько же — очень редкие. При практически одинаковом (89 и 88) числе видов в Сибирской и Канадской провинциях около четверти (20 и 21) найдены в какой-то одной. Только полярный мак, настоящий символ полярных пустынь, повсеместен.

Пока неясно, какие виды можно с уверенностью относить к категории наиболее характерных обитателей именно полярно-пустынных ландшафтов — гиперарктам [8]. К ним можно причислить злаки *Phippisia algida* и *Poa abbreviata*, мак *Papaver polare*, ясколку *Cerastium regelii*, звездчатку *Stellaria edwardsii*, а среди наземных животных — ногохвостку *Vertagopus brevicaudus* и четыре вида клещей рода *Arctoseius*, чьи экологический и ценотический оптимумы несомненно находятся в полярных пустынях.

Видовая структура сообществ

При кажущейся простоте полярно-пустынных сообществ в них проявляются многие законы синэкологической организации, т.е. пространственной и видовой структуры биоценозов [15]. Один из них именуют правилом А.Тинемана, основным биоценологическим законом (В.Н.Беклемишев) или принципом компенсации (Ю.И.Чернов): при снижении видового разнообразия плотность населения отдельных видов повышается, в результате чего суммарная численность и биомасса сохраняются на высоком уровне. Этому закону в полярных пустынях следуют растения, мелкие почвенные беспозвоночные, населяющие примитивные почвы, поверхность оголенных грунтов, мо-

хово-лишайниковые ковры, водорослевые и лишайниковые корки. Так, в границах небольшого ландшафтного выдела обычно отмечают 10—36 видов ногохвосток, но суммарная плотность их населения очень высока и колеблется в пределах 1000—5000 экз./дм² при максимальных величинах до 15000 экз./дм². Для сравнения: в арктических тундрах при числе видов этой группы около 50 их суммарная плотность ниже — примерно 500—2700 экз./дм², а в типичных тундрах — 100—124 вида и 200—400 экз./дм², соответственно.

При общем обеднении флоры полярных пустынь видовое богатство растительных сообществ весьма велико. Так, на пробных площадках 25 м² в разных сообществах на водоразделах о.Большевик зарегистрировано от 50 до 100 видов (10—25 — сосудистых растений, 25—40 — мохообразных и 20—50 — лишайников). Это несколько меньше, чем в тундрах, и значительно больше, чем в бореальных лесах. Безусловно, высокое видовое разнообразие создается преимущественно бриофитами и лишайниками (на о.Большевик на площадках 1 дм² зарегистрировано 16 видов мхов, на 9 дм² — 23, на 25 м² — 25). Однако эти группы — обычный компонент многих лесных и болотных сообществ таежной зоны, но столь высокая видовая плотность там для них неизвестна. К тому же число видов цветковых в зональных сообществах полярных пустынь не меньше, чем в нижних ярусах лесных ценозов.

Еще один феномен полярных пустынь — доминирование одних и тех же видов в широком диапазоне сообществ (политопность и мультидоминантность). Таких видов немного. На приморской равнине о.Большевик из 46 видов сосудистых растений повсеместны лишь 10. Но именно они определяют облик покрова, и возникает ощущение эффекта «перетасовки»: различные по внешнему облику сообщества формируются из одного и того же набора видов в разных соотношениях [16]. Печеночник *Gymnomitrium coralloides* растет

в любых условиях — от относительно сухих мало-снежных до сырых и холодных мест с долгим лежанием снега. Почти во всех биотопах полярных пустынь в изобилии встречаются мох *Aulacomnium turgidum* и полярный мак, а такое количество плотных красочных куртин камнеломок — *Saxifraga cespitosa* с белыми цветами и *S.oppositifolia* с малиновыми — не встретишь нигде южнее. Крошечный лютик *Ranunculus sabinei* с трудом можно найти даже на самом севере тундровой зоны, а на о.Большевик в поле зрения попадает до сотни экземпляров. Повсюду в полярных пустынях видны следы деятельности лемминга.

Мультидоминантность нивелирует различия зональных и интразональных сообществ, в результате чего растительный покров, например, на водораздельных увалах и в местах длительного лежания снега сходен по составу, а на подгорных шлейфах формируются своеобразные гигрофитные сообщества, которые можно было бы отнести к болотам. Между тем на каменистых шлейфах не образуется торфянистый слой, и большинство видов — те же, что и в зональных сообществах на водоразделах. Не формируются в полярных пустынях и обычные для тундр разнотравные луга. Лишь добавка азота (и тем самым эвтрофирование субстрата) может способствовать интенсивному росту немногих видов разнотравья, злаков, ожик — это происходит там, где живут лемминги и хищные птицы.

Одно из проявлений мультидоминантности в полярных пустынях — повсеместное (в том числе в относительно «сухих» плакорных биотопах) обитание видов, которые в других зонах относят к категории гигрофилов. Другой пример — в тундровой зоне в местах с долгим лежанием снега формируются нивальные комплексы со специфичным набором видов, а в полярных пустынях эти виды — постоянные обитатели в различных сообществах.

Таким образом, в зоне полярных пустынь проявляются разные формы компенсационных механизмов, способствующих формированию достаточно широкого спектра ценоотических структур при очевидном снижении видового разнообразия. Исследования этих относительно простых сообществ очень важны для развития концептуальной основы синэкологии.

Полярные пустыни и древние формы жизни

Издавна биологи используют современные группы организмов в качестве моделей их предковых форм. Это вполне применимо и к сообществам. Распространено мнение, что древнейшие представители жизни по мере эволюции вытесняются в неблагоприятные, экстремальные условия. «На этом основывается реконструкция жизни прошлого с помощью реликтовых сообществ — обитателей необычных современных ландшафтов, которые

могут быть сопоставлены с фациями прошлого», — пишет Г.А.Заварзин в отношении бактерий [17].

Моделью развития первичных ценоотических и экосистемных комплексов суши могут служить и различные компоненты полярных пустынь, причем по многим признакам. Среди них — обилие малозаселенных субстратов, избыток свободных ресурсов при ослабленной конкуренции и недостаточности ценоотической регуляции, относительная простота и однообразие пространственной организации сообществ. Если в тундровой зоне можно хотя бы условно говорить о стабильном существовании зрелых сообществ, то в полярных пустынях состояние покрова подходит под определение перманентно-пионерного. По облику эти сообщества — пионерные, а по сути — хронически пионерные, остающиеся на начальных стадиях сукцессионного процесса неопределенно долго.

Сукцессии — своего рода аналог онтогенеза. В полярных пустынях развитие сообществ обрывается на ранних стадиях, формирующихся относительно примитивными формами организмов. При удлинении сукцессий возникают условия, допускающие существование организмов продвинутых таксонов с более жесткими требованиями к среде. Преобладание в таксономическом составе биоты и большая ценоотическая роль в сообществах относительно примитивных групп организмов позволяют видеть в органическом мире высоких широт некоторые черты древних первичных сообществ. «Сообщество полярной пустыни по существу представляет собой пионерную стадию сукцессии и одновременно отражает в своей структуре ранний этап развития жизни на Земле (своего рода аналогия биогенетического закона)» [18].

Полярные пустыни — единственная на Земле зона, где сосудистые растения не имеют успеха в конкуренции со споровыми. Именно эти представители нижних филогенетических уровней способны образовывать такие разнообразные формы ценоотической организации, как колонии, протяженные ковры, корки и т.д., на которые обращали внимание еще в VIII в. П.-С.Паллас для таких форм использовал название «кожа», а известный российский микробиолог Б.Л.Исаченко — «войлок» (для сплетений нитчатых водорослей). При описании растительности полярных пустынь используют скорее образные характеристики, нежели термины («коврики», «щетки», «корочки», «пенки», «латки», «подушки»), которые можно объединить под общим понятием «маты». В литературе высказано много суждений о том, что подобные формы ценозов явно имитируют древний тип морфофункциональной структуры, сыгравший огромную роль в эволюции наземных биоценозов и разных экологических групп организмов. Именно формирование и преобразование таких структур были важнейшими факторами эволюции и ценоотической экспансии фитофагов. Подобные

первичные сообщества создавали условия, подходящие для жизни других наземных организмов. Переживать зимний период, который в полярных пустынях в четыре-пять раз длиннее вегетационного, споровым организмам позволяют интенсивное ветвление, активное возобновление как вегетативным, так и половым путем, формирование подушек и матов, пластичность физиологических процессов, а также способность к длительному анабиозу. У большинства видов споровых огромные полизональные ареалы, а многие из них имеют не только циркумполярное, но и биполярное распространение. О них можно сказать, что они, скорее, — не сильные конкуренты, а толерантные эксплеренты (от лат. *expleo* — заполняю), которые могут не просто выживать в экстремальных условиях, но и занимать все возможные ниши.

Способность к почти полной потере воды, позволяющая выносить как низкие, так и высокие температуры, свойственна и беспозвоночным животным — нематодам, коловраткам, тихоходкам, клещам, коллемболам. Именно они вместе со споровыми растениями, цианобактериями и микромицетами заселяют даже нунатаки — одиночные скалы, поднимающиеся над поверхностью ледника.

* * *

Полярные пустыни выделены в самостоятельную зону не только и не столько по признаку «пустоты» или «простоты». Их биоте присущи особые черты организации. В суровой и враждебной среде полярных пустынь более полезны для жизни толерантность и пластичность, а не специализация и конкурентоспособность, характерные для биомов иных климатических поясов. Основная стратегия организмов — занятие любых свободных ниш и выживание в любых условиях, а не выработка специальных (морфологических, физиологических, экологических) адаптаций.

Очевидно, что в основе прогрессивной эволюции — усложнение организации сообществ и экосистем. Так и происходит в низких широтах, где в условиях наибольшей интенсивности и разнообразия биоценотических отношений максимально процветают самые богатые видами таксоны верхнего филогенетического уровня. В теплом климатическом пессимуме они уступают место более примитивным, но способным преодолеть экстремальные условия группам. ■

Литература

1. *Passarge S.* Die Grundlagen der Landschaftskunde. Hamburg, 1920.
2. *Александрова В.Д.* Растительность полярных пустынь СССР. Л., 1983.
3. *Короткевич Е.С.* Полярные пустыни. Л., 1972.
4. *Tedrow J.C.F.* Soils of the polar landscapes. New Brunswick; New Jersey, 1977.
5. CAVM Team. Circumpolar Arctic Vegetation Map, Conservation of Arctic Flora and Fauna. Map №1. Anchorage, 2003.
6. *Wasburn A.* Classification of patterned ground and review of suggested origins // *Geol. Sci. Amer.* 1956. V.67. P.823—866.
7. *Чернов Ю.И.* Биота Арктики: таксономическое разнообразие // *Зоол. журн.* 2002. Т.81. №12. С.1411—1431.
8. *Чернов Ю.И.* Филогенетический уровень и географическое распределение таксонов // *Зоол. журн.* 1988. Т.66. №7. С.1032—1044.
9. *Алексеев С.С., Макарова О.Л., Смирнова Э.М.* Озерный голец *Salvelinus alpinus complex* с острова Большевик (архипелаг Северная Земля) // *Вопр. ихтиологии.* 2003. Т.43. №6. С.842—846.
10. *Чернов Ю.И., Матвеева Н.В.* Ландшафтно-зональное распределение видов арктической биоты // *Успехи соврем. биол.* 2002. Т.122. №1. С.26—45.
11. *Чернов Ю.И.* Видовое разнообразие и компенсационные явления в сообществах и биотических системах // *Зоол. журн.* 2005. Т.84. №10. С.1221—1238.
12. *Макарова О.Л.* Акароценозы (Acariiformes, Parasitiformes) полярных пустынь. Сообщ. 1 // *Зоол. журн.* 2002. Т.81. №2. С.165—181. Сообщ. 2. // *Зоол. журн.* 2002. Т.81. №10. С.1222—1238.
13. *Матвеева Н.В.* Зональность в растительном покрове Арктики. СПб., 1998.
14. *Чернов Ю.И.* Экологическая целостность надвидовых таксонов и биота Арктики // *Зоол. журн.* 2008. Т.87. №10. С.1155—1167.
15. *Chernov Yu.I., Matveyeva N.V.* Arctic ecosystems in Russia // *Ecosystems of the World.* V.3. 1997. P.361—507.
16. *Чернов Ю.И., Матвеева Н.В.* Закономерности зонального распределения сообществ на Таймыре // *Арктические тундры и полярные пустыни Таймыра.* Л., 1979. С.166—200.
17. *Заварзин Г.А.* Лекции по природоведческой микробиологии. М., 2003. С.307.
18. *Чернов Ю.И.* Биологические предпосылки освоения арктической среды организмами различных таксонов // *Фауногенез и филоценогенез.* М., 1984. С.154—174.

Современная водная дипломатия

Р.Г.Джамалов, Р.С.Хасиев

По прогнозам специалистов в середине XXI в. человечество столкнется с острой проблемой дефицита пресной воды, которая может стать причиной межгосударственных конфликтов. Новые дипломатические инициативы на пути поиска справедливых и научно обоснованных правил водопотребления и вододеления помогут выработать способы мирного урегулирования водных проблем.

Распределение и использование водных ресурсов

Проблемы деления водных ресурсов появились на Земле одновременно с возникновением государств. В древности вода использовалась в основном для питья, сельского хозяйства и удовлетворения незначительных бытовых потребностей.

История не оставила нам документов о конфликтах или спорах за обладание водными ресурсами во времена родоплеменных отношений, хотя древняя культура, религии, культы и верования довольно широко отразили бережное отношение людей к воде.

Одним из первых доподлинно известных конфликтов на этой почве считается военное противостояние, случившееся в середине 3-го тысячелетия до н.э. в Древнем Шумере. Вся даль-



Роальд Гамидович Джамалов, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией Института водных проблем РАН. Область научных интересов — формирование подземного стока и ресурсов подземных вод, морская гидрогеология. Лауреат премии им.Ф.П.Саваренского (2001). Заслуженный деятель науки РФ (2008).



Роман Сергеевич Хасиев, выпускник Московского государственного института международных отношений 2011 г., заместитель директора ассоциации выпускников МГИМО МИД РФ. Область научных интересов — международные водные отношения, водопользование.

нейшая история народов и государств изобилует враждой и многочисленными спорами за обладание пресной водой [1].

Огромное количество воды участвует в круговороте трех основных резервуаров: атмосферного, собственно гидрологического и подземного (геолого-гидрогеологического). Сроки полного цикла водообмена в них весьма различны. Наиболее медленный связан с подземными водами, продолжительность круговорота которых в зоне интенсивного (активного) водообмена

изменяется от десятков до многих тысяч лет (табл.1).

Общее количество воды на Земле составляет примерно 1454 млн км³. Доля пресной воды крайне мала, около 2.5% мировых запасов, причем основное ее количество (~70%) находится в твердом состоянии (это ледники и водонасыщенные мерзлые породы). На доступные поверхностные и подземные пресные воды приходится немногим более 0.3% всех мировых запасов. Человечество вынуждено довольствоваться столь неболь-

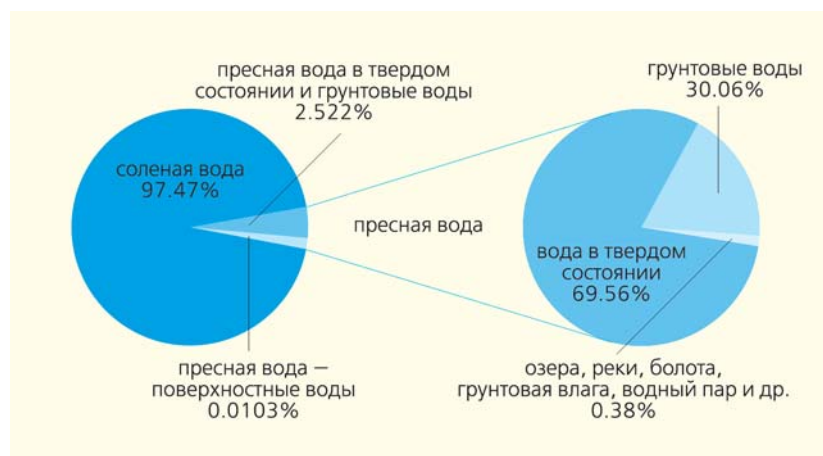
шим количеством для удовлетворения своих потребностей.

В соответствии с последними оценками суммарный среднесуточный речной сток составляет 42.785 тыс. км³/год, естественные ресурсы подземных вод мира — 11.72 тыс. км³/год, или 27% общего речного стока (табл.2). Изменение климата последних десятилетий влияет на условия формирования и распределения ресурсов поверхностных и подземных вод, доступных для хозяйственного освоения. Демографический рост и развитие экономики во многих странах вызывают рост потребления ограниченных запасов пресных вод. Это может вызвать не только напряженность, но и кризисные ситуации в некоторых (прежде всего засушливых) регионах, где расположены основные развивающиеся страны. Существенно ограничивает применение воды в хозяйственно-питьевых целях возрастающее загрязнение окружающей среды. Современное качество поверхностных вод нередко исключает или существенно снижает их потребление. В связи с этим возрастает значение подземных вод — более распространенных и защищен-

Таблица 1

Объем элементов гидросферы и сроки их водообмена [2, 3]

Элементы гидросферы	Объем воды, тыс. км ³	Доля от общего объема гидросферы, %	Сроки водообмена, лет
Мировой океан	1 370 323	93.96	2 600
Подземные воды, в том числе зоны интенсивного водообмена	60 000	4.12	5 000
Ледники	24 000	1.65	10 000
Озера	280	0.019	—
Речные воды	1.2	0.0001	0.033
Почвенная влага	85	0.006	0.9
Влага атмосферы	14	0.001	0.027
Гидросфера в целом	1 454 193	100	



Общий объем воды на Земле [4].

Таблица 2

Современная обеспеченность водными ресурсами континентов Земли [5–8]

Континент	Площадь, млн км ²	Население, млн чел.	Ресурсы, км ³ /год		Соотношение ресурсов подземных и поверхностных вод, %	Водообеспеченность, тыс. м ³ /год			
			поверхностных вод (речной сток)**	подземных вод***		поверхностными водами		подземными водами	
						на 1 км ²	на 1 человека	на 1 км ²	на 1 человека
Европа	10.5	687.5	2900	1050	36	294	4.2	106	1.5
Азия	44.3	3698.5	13 510	3246	24	300	3.7	72	0.9
Африка	30.3	790	4050	1129	28	137	5.1	38	1.4
Северная Америка	24.4	479.4	7890	2132	27	358	16.5	96.8	4.4
Южная Америка	17.8	345.7	12 030	3656	30	674	34.8	205	10.6
Австралия и Океания	8.9	27.7	2405	312	13	288	86.7	37	11.2
Вся суша*	136.2	6029	42 785	11 720	27	322	7.1	87	2.0
В том числе Россия	17.1	144.4	4118	915	23	237	28.5	54	6.3

* Без Антарктиды, Гренландии; ** по данным [7, 8]; *** по данным авторов.

ных. Их рачительное использование диктуется необходимостью долговременной эксплуатации, в расчете на будущие поколения.

Как ни удивительно, доступных водных ресурсов теоретически могло бы хватить для обеспечения нужд всего населения Земли. Но в реальных условиях этого не происходит. Положение усугубляется сложившимся на нашей планете дисбалансом между обеспеченностью данного региона водой и количеством его жителей (табл.3). К благополучным территориям можно отнести Южную Америку и Океанию. Глобальный водный кризис более очевиден там, где жители не имеют в требуемых количествах свободного доступа к водным источникам. В первую очередь речь идет об Азиатском континенте, на котором проживает более половины населения Земли.

Самые богатые возобновляемыми водными ресурсами (речным стоком) — шесть крупнейших стран мира: Бразилия, Россия, Канада, США, Китай, Индия. На их территориях формируется более 40% суммарного годового стока рек. Минимальным соотношением запасов подземных и поверхностных вод отличается засушливая Австралия, сравнительно низким — Азия, максимальным — Европа (табл.4). Пустынные районы Австралии, Африки и Азии наиболее уязвимы по отношению к современным многолетним и внутригодовым изменениям ресурсообразующих элементов водного баланса — осадкам и испарению.

Недалеко время, когда дефицит пресной воды станет определяющим фактором внутренней и внешней политики многих государств. Уже сегодня на транспортировку воды тратятся средства, превышающие ее сто-

имость. Но ее социально-экономическое значение трудно выразить деньгами. Государство без источников воды теряет способность к существованию.

По современным оценкам, обеспеченность жителя Земли водой с 1970 по 2005 г. уменьшилась примерно в два раза (с 13 до 7.6 тыс. м³/год), что связано в основном с увеличением населения Земли почти на 3 млрд человек, а также с истощением ресурсов пресных вод отдельных регионов и стран [9]. Если рост населения планеты к середине XXI в. будет соответствовать прогнозным оценкам (около 9 млрд чел.), а суммарные водные ресурсы существенно не изменятся, то это приведет к дальнейшему снижению количества воды на одного человека до 5.5—5.0 тыс. м³/год. Расчеты показывают, что средняя удельная обеспеченность подземными водами жителя каждой страны в год

Таблица 3

Население и обеспеченность водными ресурсами на каждом континенте [10]

	Европа	Азия	Африка	Южная Америка	Северная Америка	Австралия и Океания
Население, %	13	60	13	6	8	<1
Обеспеченность водой, %	8	36	11	26	15	5

Таблица 4

Суммарный и удельный отбор поверхностных и подземных вод в мире [5–7]

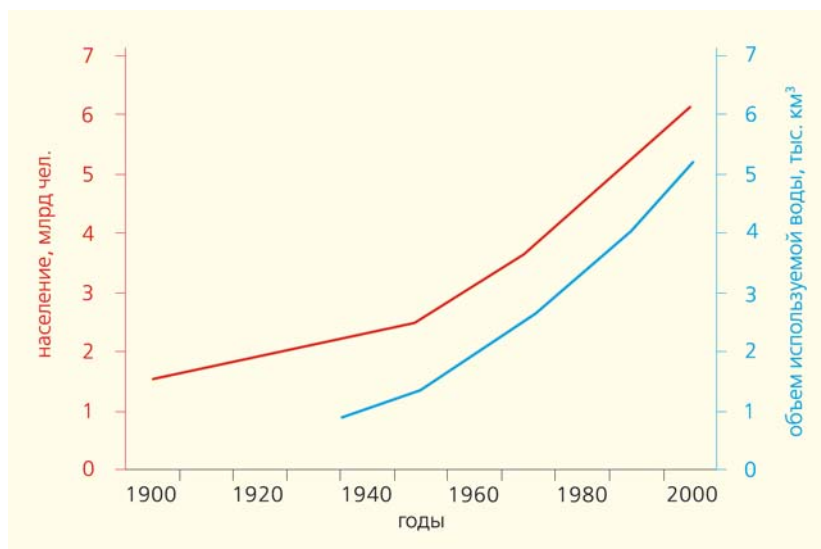
Континент	Поверхностные воды			Подземные воды			Соотношение отбора поверхностных и подземных вод, %
	суммарные, км ³ /год % от ресурсов	на 1 км ² , тыс. м ³ /год	на 1 жителя, тыс. м ³ /год	суммарные, км ³ /год % от ресурсов	на 1 км ² , тыс. м ³ /год	на 1 жителя, тыс. м ³ /год	
Европа	$\frac{463}{16}$	44	0.7	$\frac{74}{7}$	7.0	0.1	16
Азия	$\frac{2357}{17}$	53	0.7	$\frac{407}{12}$	9.2	0.1	17
Африка	$\frac{235}{6}$	8	0.3	$\frac{24}{2}$	0.8	0.03	10
Северная Америка	$\frac{705}{9}$	29	1.6	$\frac{140}{7}$	5.7	0.3	20
Южная Америка	$\frac{182}{2}$	10	0.6	$\frac{15}{<1}$	0.8	0.05	8
Австралия	$\frac{33}{9}$	4.3	1.8	$\frac{2.2}{2}$	0.3	0.1	7
Суша в целом	$\frac{3975}{9}$	29.2	0.7	$\frac{662}{6}$	4.9	0.1	17
Россия	$\frac{73}{2}$	4.3	0.5	$\frac{10.9}{1.2}$	0.6	0.1	15

(с суммарным населением на 2000 г. около 6 млрд чел.) колеблется от 0.1–0.2 (страны Магриба, Аравийского п-ова и др.) до 100 тыс. м³ (в Исландии) при средней величине 2.1 тыс. м³.

По оценкам экспертов, в зависимости от региона и конкретной страны 1% роста населения приводит в среднем к 2%-му росту потребления воды. Такие прогнозы далеки от обнадеживающих, ведь ситуация с острой нехваткой воды актуальна для многих районов мира уже сегодня. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) сегодня более 1 млрд людей не обеспечены в необходимой степени пресной водой, что ведет к катастрофическим последствиям, особенно в Африке и на Ближнем Востоке.

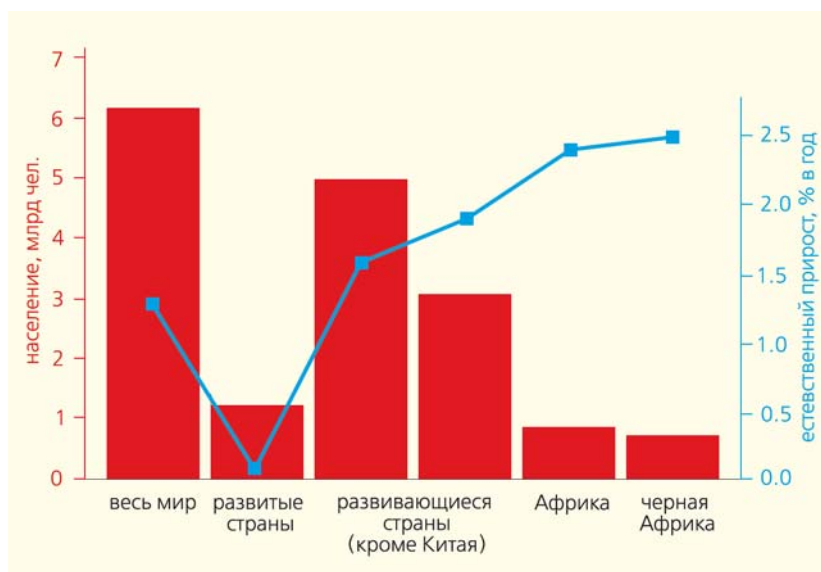
По оценкам ВОЗ, к концу следующего десятилетия данное значение может превысить 3.3 млрд человек, или около половины жителей планеты [10]. Положение осложняется тем, что основной рост населения прогнозируется в проблемных регионах с уже высоким уровнем водного стресса. Это Азия (особенно Центральная и Западная) и Африка с наименее развитыми государствами и традиционно высоким уровнем рождаемости. Уровень обеспеченности водой здесь может упасть до катастрофического, что станет угрозой региональной и даже глобальной безопасности.

На конец XX в. суммарное потребление воды в мире достигло почти 4 тыс. км³/год, из которых более 50% приходится на Азию (табл.4). Именно там проживает большая часть населения и расположены основные орошаемые земли — самая водоемкая отрасль сельского хозяйства [5–7]. Наиболее интенсивный рост водопотребления (в 1.5–1.6 раза) в ближайшие десятилетия ожидается в развивающихся странах Африки и Южной Америки, наименьший (в 1.2 раза) — в экономически и технологически развитых странах Европы и Северной Америки.



Мировое население и ежегодный объем использованной воды.

www.unesco.org/1/water



Прогнозы роста населения Земли (по данным 2001 г.).

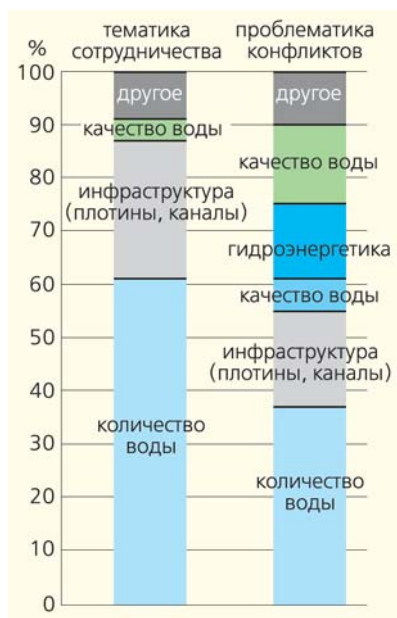
www.unesco.org/1/water

Основа конфликтов

В докладе ООН за 2006 г. о водной проблеме на Земле отмечалось, что за прошедшие 50 лет зафиксировано 37 случаев межгосударственных конфликтов, связанных с водопользованием. Из них 30 произошли на Ближнем Востоке [11]: между Турцией и Сирией из-за рек Тигр и Евфрат; между Египтом, Суданом и Эфиопией из-за р.Нил;

между Израилем, Палестинской автономией и Иорданией из-за р.Иордан.

В докладе подчеркивается, что за тот же период между странами было заключено более 200 договоров по использованию водных ресурсов. Следовательно, вода не только сталкивает интересы сторон и разжигает конфликты, но и стимулирует международные контакты и долгосрочное сотрудничество по



Тематика международного сотрудничества и проблемы конфликтов (По: А.Вульф, 2006).

совместному управлению ее запасами. Однако межгосударственные соглашения, как правило, изобилуют дежурными текстами и формулировками о добрых намерениях сторон, взаимной выгоде, о рациональном и справедливом использовании и прочими протокольными фразами.

Трудно найти документ по совместному использованию трансграничных водных объектов, который бы гарантировал равные и нерушимые права договаривающихся сторон. Большинство двусторонних и многосторонних соглашений отличаются слабой конкретикой*.

* Например, Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Китайской Народной Республики о рациональном использовании и охране трансграничных вод (Пекин, 29 января 2008 г.); Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Казахстан о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов (Усть-Каменогорск, 7 сентября 2010 г.); Соглашение между Правительством Республики Казахстан и Правительством Китайской Народной Республики о сотрудничестве в сфере использования и охраны трансграничных рек (Астана, 12 сентября 2001 г.).

В значительной мере это объясняется отсутствием международно установленных правил пользования такого рода водными объектами с неотвратимыми мерами строгой ответственности за их нарушение. Принятые на сегодняшний день конвенции страдают тем же недостатком и носят рекомендательный характер**.

Главными причинами возникающих разногласий (более 90%) служат вододелиние и вопросы инфраструктуры. Доля же договоров в этих двух областях составляет чуть более 50%.

Принято считать, что участие в международных соглашениях по использованию трансграничных водных объектов — добрая воля самих стран. Принципы международного водного права в синтезированном виде сводятся к следующим:

- суверенитет страны на принадлежащий ему участок трансграничной реки;
- равенство прав прибрежных государств на справедливое и разумное использование трансграничных водных ресурсов с учетом исторического опыта водопользования;
- справедливое использование «международных» рек при соблюдении общих интересов прибрежных стран и специфических интересов каждой из них;
- непричинение трансграничного ущерба («не навреди»);
- возмещение нанесенного вреда («загрязнитель платит»).

За формально удовлетворительными текстами соглашений часто просматривается настороженное отношение стран друг к другу, а нередко и вынужденная покорность перед более

** Например, Правила пользования водами международных рек (Хельсинки, 1966 г.); Конвенция Европейской экономической комиссии ООН по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Хельсинки, 17 марта 1992 г.); Конвенция о праве несудоходных видов использования международных водотоков. Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН 51\229 (Нью-Йорк, 21 мая 1997г.).

сильным соседом. Сложившаяся практика международного реагирования на водные конфликты, к сожалению, носит характер невмешательства сторонних наблюдателей, что обычно выгодно более сильной конфликтующей стороне. При такой постановке ни о какой справедливости речи идти не может.

Большинство проблем перерастают в долговременные, вялотекущие противостояния с незначительными перспективами быть разрешенными к взаимному удовлетворению сторон. Практически ни одно из ныне существующих соглашений не устанавливает и почти не конкретизирует меры ответственности сторон за нарушения принятых обязательств. Иногда стороны вкладывают значительные финансовые средства для исполнения добровольно принятых на себя обязательств, в большинстве случаев ради своей же безопасности. Например, в 1972 г. Канада и США начали систематическую работу по очистке Великих озер. С тех пор частный и общественный секторы затратили более 500 млрд долл. США на контроль и очистку коммунальных и промышленных сточных вод. В результате резко снижен сброс загрязнений в озера.

Другой пример добровольного вложения средств в сохранение водных ресурсов трансграничных рек — сотрудничество девяти стран бассейна р.Рейн. Международная комиссия по защите Рейна, созданная в 1950 г. Францией, Западной Германией, Люксембургом, Нидерландами и Швейцарией, к маю 1987 г. выработала план действий по улучшению состояния Рейна. В результате качество водных ресурсов реки, которую называли «сточной канавой», значительно улучшилось. В очистку верхнего Рейна и Боденского озера Германия, Швейцария и Австрия вложили более 5 млрд марок ФРГ (в ценах 1970-х годов), которые направлялись в основном на очистку

воды от точечных источников загрязнения или на их ликвидацию. Работа по охране водных объектов в Европе имела не только значительные социально-экологические, но и экономические результаты. Так, в Германии была создана природоохранная промышленность с оборотом в миллиарды марок и числом занятых людей больше, чем в автомобильной промышленности [12].

Таким образом, сложившаяся международная практика заключения договорных обязательств по использованию трансграничных водных объектов почти целиком базируется на доброй воле стран-пользователей.

Американский исследователь А.Вульф и несколько его коллег в рамках проекта TFDD (Transboundary Freshwater Dispute Database) проанализировали 145 соглашений, подписанных начиная с 1870 г. и касающихся только вопросов распределения воды. Сделанный вывод звучит так: «Юридическое управление трансграничными реками находится все еще на начальной концептуальной стадии. Более половины этих соглашений не определяют никаких положений о мониторинге, и как следствие этого, две трети соглашений не определяют конкретное вододелиние, четыре пятых не содержат никакого механизма принудительной реализации... Конвенция ООН 1997 г. и последующие проекты статей международных юридических органов содержат мало практических положений о вододелинии — центральной проблеме большинства водных конфликтов. Международное право рассматривает только права и обязанности между странами. Кроме того, Международный суд ООН проводит разбирательства только с согласия всех вовлеченных сторон. Практический механизм выполнения решения Суда отсутствует, за исключением наиболее чрезвычайных ситуаций» [11].

Водопользование — краеугольный камень политики

Существующие прогнозы убедительно доказывают, что вопрос о вододелинии и водопользовании в недалеком будущем станет одним из краеугольных камней международных отношений и мировой политики, и готовиться к этому нужно сегодня. Между тем наука и практика дипломатических отношений неосмотрительно продолжают игнорировать проблему использования трансграничных вод, отдавая ее на откуп региональным политикам.

Сегодня вряд ли найдутся специалисты, не понимающие, что проблема доступа к пресной воде уже представляет собой тот фитиль, который может разжечь вооруженный конфликт совсем не локального характера. В свое время король Иордании Хусейн утверждал: «Единственный вопрос, который свергнет Иорданию в войну, — это вода». Того же мнения придерживается и бывший генеральный секретарь ООН Бутрос Гали, говоривший, что «следующая война на Ближнем Востоке будет за воду» [13].

В прошлом человечество неоднократно сталкивалось со сложными проблемами. Многие из них давно и успешно разрешены через институт международных правил, обязательных к применению всеми участниками международных отношений. Не исключено, что и в водном вопросе пришло время говорить именно о правилах, обязательных для всех стран, которые не желают выпасть из цивилизованных отношений. А правила, как известно, базируются на общепризнанных постулатах.

В частности, Казахстан, для которого проблемы водопользования, без преувеличения, первостепенны, нуждается в международной поддержке в связи с резким сокращением стока рек Черный Иртыш и Или на китайской территории [14]. Попав в самый сложный узел

трансграничных водных отношений с одним из сильнейших государств мира — Китаем, казахское правительство предпринимает попытки найти выход и инициирует рассмотрение этого вопроса во многих организациях. Но международное сообщество вяло реагирует на казахские инициативы и традиционно снижает остроту всех приложенных усилий.

Общая взаимозависимость стран Центральной Азии при использовании трансграничных рек настолько велика, что проблема водных ресурсов касается не только Казахстана и Китая, но и других стран региона. Основная причина конфликтов в области водопользования в Центральной Азии связана с неравномерным распределением водных ресурсов. Таджикистан и Киргизия, на территории которых формируется сток главных рек, могут контролировать режим подачи воды в Туркменистан, Узбекистан и Казахстан. В советские годы общая система водного хозяйства регулировала водные отношения между среднеазиатскими республиками. После распада СССР конфликты из-за водопользования значительно возросли, поскольку независимые государства в своей политике исходят не из общих, как прежде, интересов, а из своих собственных. Так, для Киргизии и Таджикистана, наименее развитых государств региона, гидроэнергетика может активно способствовать их развитию. Если ГЭС Киргизии и Таджикистана будут работать в полном объеме, то электроэнергии хватит не только для развития экономики самих стран, но и для направления на экспорт. Однако такой вариант не отвечает интересам стран нижнего течения, для которых выгоды ирригационный режим работы ГЭС верхнего течения. В свое время в СССР был выработан механизм компенсационных поставок энергоносителей из Туркменистана, Казахстана и Узбекистана в Киргизию и Таджикистан. Се-

годня этот механизм работает со сбоями, поскольку правительства стран Центральной Азии часто не выполняют принятых на себя обязательств.

В годы советской власти взаимопроникновение экономик среднеазиатских республик было столь велико, что любая сегодняшняя попытка экономического давления одной стороны непременно вызывает ответную реакцию. Например, богатый газом Узбекистан традиционно испытывает дефицит воды, тогда как богатая водой Киргизия не в состоянии полностью обеспечить себя газом. Неудивительно, что на попытку Узбекистан в одностороннем порядке сократить поставку газа, Киргизия отреагировала дополнительным сбросом воды в невыгодный для Узбекистана зимний период. Избыточный водный поток из Токтогульского водохранилища, мало того что нанес колоссальный вред ирригационным сооружениям в нижнем течении, но и спровоцировал дефицит воды в летний период. И это не единственный пример предконфликтных ситуаций. Так, в ответ на попытку демонстрации Узбекистаном военной силы в районе Нарынской ГЭС, Киргизия дала понять о своей готовности смыть водными потоками Ферганскую и Зеравшанскую низменности [15]. Таджикистан также держит в напряжении своих соседей, намекая им о перспективе быть смытыми в Аральское море при прорыве плотины Нурекской ГЭС и Усойского завала, образовавшегося в 1911 г. и ставшего естественной плотинкой для Сарезского озера (16 млрд м³ воды). Таджикистан требует от соседних государств инвестировать средства в реконструкцию и безопасное содержание своих гидросооружений [15]. Экзотическое решение водной проблемы выдвинуло правительство Туркмении, предложив создать искусственное море в пустыне. Как и всякое недостаточно продуманное предложение, оно не содержит

должного обоснования источников воды и масштабов ее испарения. Для сохранения интересов своего населения Казахстан пытается препятствовать строительству якобы опасной Кумбаратинской ГЭС.

В ряде случаев трудно прогнозировать развитие экологических катастроф и их последствия, которые могут охватывать не только локальные территории, но и целые страны и регионы. Например, катастрофа Аральского моря считалась внутренней проблемой СССР. Но пылесоловой вынос с его высохшей акватории стал достигать ледников Тянь-Шаня, питающих водой почти треть Центральной Азии. Скорость их таяния существенно возросла, и запасы воды в ледниках постепенно стали сокращаться.

Таким образом, уже сегодня можно утверждать, что проблема использования трансграничных водных ресурсов вышла за рамки двухсторонних отношений и требует принципиально новых подходов и неотложных мер со стороны мирового сообщества.

Коварство обсуждаемой проблемы в том, что она нарастает и накапливается незаметно, в течение длительного времени оставаясь второстепенной для большинства не страдающих от нее стран и народов. Игра на региональных конфликтах всегда была и еще долго, видимо, будет одним из излюбленных дипломатических приемов. Но все более нарастает тревожное ощущение, что в данном вопросе мировая дипломатия либо недооценивает степень реально существующей угрозы (во что мало верится), либо вполне сознательно способствует сохранению ее в тлеющем состоянии. Опасность таких проблем в том, что, когда принимается решение об обратном, наконец, на них внимание, часто обнаруживается, что изменить или устранить их уже просто невозможно. Надо понимать при этом, что дипломатическая активность без научно обоснованных и выверенных ар-

гументов дает прямо противоположный эффект, надолго загоняя проблему в разряд нерешаемых.

Не подлежат никакому сомнению базовые принципы международных отношений о целостности и суверенитете государств, нерушимости границ, равно как и правило о невмешательстве во внутренние дела. Вместе с тем следует еще раз проанализировать несколько важных понятий, которые уже сегодня лежат в основе всех соглашений по использованию трансграничных водных объектов. Накопленный громадный опыт выработал множество форм и способов эффективного разрешения сложных вопросов при совместном пользовании водными ресурсами.

Между тем, произнося привычное словосочетание «вода—воздух», почему-то никто не пробует назвать воздух товаром или национальным богатством. Это наряду с другими причинами связано с тем, что на планете пока нет дефицита воздуха. Дефицит же пресной воды есть, и именно на данной экономической характеристике построены все современные способы регулирования водопользованием.

К сожалению, вода стала одним из мощных способов давления в политике. Она лежит в основе развития экономической мощи государств и благосостояния их народов. Следовательно, вода (как и воздух) — совершенно особый, жизненно необходимый фактор, к которому малоприменимы общепринятые подходы при выборе способов управления ее ресурсами.

Современные технические средства позволяют проводить практически постоянный мониторинг объемов и качества водных объектов на всех континентах планеты. Это означает, что любая попытка превысить допустимый уровень забора воды будет зафиксирована. Очевидно, что справедливое распределение водных ресурсов не означает раздачу воды каждому по потребностям, хотя бы потому, что

потребность — постоянно изменяющаяся величина (и в большинстве случаев — в сторону увеличения).

Ключевой вопрос — признание всеми заинтересованными странами единых, научно обоснованных, подкрепленных расчетами, прозрачных, а потому справедливых принципов, подходов и правил распределения водных ресурсов.

«Дорожная карта» водной дипломатии

Современная практика поиска дипломатических решений сложных международных проблем выработала целый арсенал методов и приемов поэтапного продвижения сторон к конечной цели переговоров. Один из таких хорошо зарекомендовавших себя приемов — разработка и принятие «дорожной карты», которая должна быть получена для каждого потенциально конфликтного водного бассейна. Такая карта, скоординирован-

ная по срокам и мероприятиям, помогает последовательно решать проблемные вопросы, уменьшая их количество.

Необходимо учитывать и психологический фактор при формировании общественного мнения. Подготовленная на основе понятной, научно обоснованной и прозрачной методики аргументация будет способствовать, пусть медленно, формированию большинства из присоединившихся стран, которое в конце концов окажет решающее влияние на принятие международных правил. Нельзя уклоняться от обсуждения вопросов о мерах и способах принуждения стран и правительств к исполнению общепринятых правил пользования водными ресурсами.

Прежде чем начинать международно-правовую дискуссию по урегулированию водопользования в трансграничных районах, всем заинтересованным странам и их правительствам следует ответить на простой вопрос: готовы ли государства уже

сегодня начать движение по «дорожной карте вододелиения» с учетом сохранения окружающей среды? Ответ на него покажет истинное отношение правительств к данной проблеме. Следует помнить печальный опыт с Киотским протоколом, когда за чистоту воздуха ратовали все без исключения, а в итоге под разными предлогами его не подписали самые активные загрязнители воздуха.

Любая страна, отказывающаяся принять рекомендованный ООН документ по согласованному водопользованию, должна рассматриваться как потенциально опасный противник природы. Только общими решениями мирового сообщества (вплоть до принуждения) можно сдерживать эгоистичные устремления отдельных государств.

Вода и связанные с ней проблемы способны оказать определенное влияние на развитие дипломатической практики и строительство международных отношений в ближайшем будущем. Главное — не опоздать. ■

Литература

1. Хронология водных конфликтов от 3000 г. до н.э. до 2009 г. Ташкент, 2010.
2. Львович М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее. 1974.
3. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. 1974.
4. Gleick P.H. The World's Water 2000—2001 // <http://www.worldwater.org>
5. Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И. Изменение ресурсов подземных вод в начале XXI века: их распределение и использование по континентам и странам мира // Известия РАН. Серия географическая. 2010. №5. С.52—59.
6. Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И. Ресурсы подземных вод: их изменение под влиянием климата и распределение по странам мира в начале XXI века // Электронный научный журнал «ГЕОразрез». 2009. №1. С.41.
7. World water resources at the beginning of the 21st century. Project of IHP UNESCO / Ed. I.A.Shiklomanov. St. Petersburg, 1999.
8. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю., Бабкин В.И., Балонишниковая Ж.А. Проблемы изучения формирования и оценки изменения водных ресурсов и водообеспеченности России // Метеорология и гидрология. 2010. №1. С.23—32.
9. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты. М., 2006 г.
10. Доклад «The World's Water 2008—2009» // <http://www.worldwater.org>
11. Полезная информация по водному сотрудничеству, конфликтам... // Бизнес & Политика. 13 мая 2010 г.
12. Рысбеков Ю.Х. Трансграничное сотрудничество на международных реках: проблемы, опыт, уроки и прогнозы экспертов. М., 2009.
13. Глебова Н. Война из-за воды // Агентство политических новостей. 21 июня 2007 г.
14. Верхотуров Д. Борьба за Иртыш. Казахстан ищет союзников //Агентство политических новостей. 20 ноября 2009 г.
15. Мухамедзянов А. Водные ресурсы Центральной Азии: проблемы и перспективы // Информационно-аналитический портал «Евразия». 21 августа 2006 г.

Шелка беспозвоночных

Е.Д.Краснова

За разглашение тайны шелка в Древнем Китае грозила смерть. Его жители задолго до наступления нашей эры научились разводить тутового шелкопряда, разматывать его коконы и делать тонкую ткань, ставшую впоследствии не только одним из важнейших объектов торговли, но и стимулом для международных отношений. На какие только хитрости не пускались чужестранцы, чтобы вывести тайну производства! И вывели, сделав шелк достоянием всего человечества. Сегодня снова идет битва за шелк, но теперь — интеллектуальная. Ученые разных стран пытаются разгадать, как достигается изумительная прочность шелкового волокна, чтобы искусственно воссоздать его свойства и сконструировать новые материалы. Особый интерес вызывают аналоги шелка, найденные у многих других представителей животного царства: они расширяют спектр возможностей для биотехнологий.

Насекомые — главные шелкопряды

Натуральный шелк — это нить из двух белковых компонентов: фиброина и серицина. Фиброин (от лат. *fibra* — волокно) — это структурная основа нити, а серицин (от лат. *sericum* — шелк) — клейкая смесь, скрепляющая отдельные нити. Гусеницы шелкопряда (*Bombyx mori*) выделяют вязкую жидкость, кото-

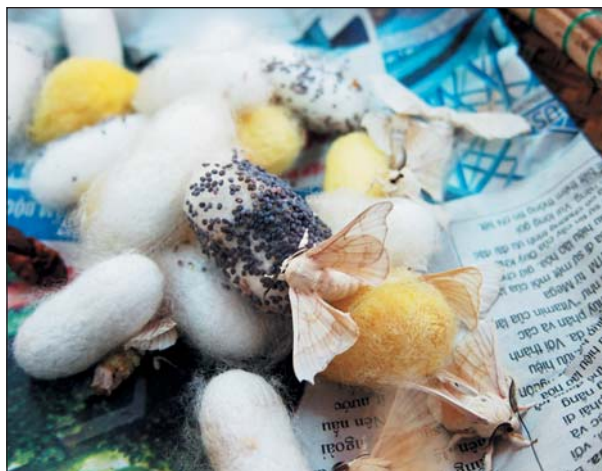


Елена Дмитриевна Краснова, кандидат биологических наук, научный сотрудник Беломорской биологической станции Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — зоология морских беспозвоночных, экология, охрана окружающей среды. Победитель конкурса научных журналистов «Золотое перо фундаментальной науки» (2009) и конкурса журналистов «Биотехнология в России — наука, экономика, общество» (2010).

рая при вытягивании быстро отвердевает. Фиброин невероятно устойчив ко всяким разрушающим воздействиям: не растворяется ни в воде, ни в спирте, ни в бензоле, ни в других органических растворителях; выдерживает нагревание до 140°C и в дополнение ко всему этому очень прочен на разрыв. Его не повреждают ферменты, расщепляющие другие белки, с ним не справляются бактерии. Так, кокон с китайской неолитической стоянки пролежал в земле около 4 тыс. лет, а другие, из руин древнеиндийских городов Хараппа и Мохенджо-Даро, — 4,5 тыс. лет. Эти древние образцы сохранились настолько хорошо, что по структуре волокон можно определить вид сделавших их гусениц.

Своими замечательными свойствами фиброин обязан большой длине молекулы (молекулярный вес 200–350 кД и даже больше) и ее модульному строению. У молекул фиброина

есть консервативные концевые N- и C-фрагменты, они небольшие (N — фрагмент длиной примерно в 130 аминокислот, фрагмент C содержит их около сотни) и почти одинаковые у разных фиброинов [1]. А между ними — длинная цепь из многократных повторов последовательностей, разделенных небольшими гидрофильными вставками. Рентгеноструктурный анализ показал, что в натуральном волокне молекулы фиброина скомпонованы в мицеллы удлинённой формы, внутри которых есть кристаллические и аморфные участки. Кристаллы представляют собой пачки одинаковых молекулярных фрагментов, ориентированных противоположными концами друг к другу. Такой вариант упаковки белков называют β-складками. Чтобы они были компактными, аминокислотные остатки с гидрофильными свойствами должны оказаться по одну сторону листов, а гидрофобные — по



Гусеницы и коконы тутового шелкопряда. Гусеница выделяет клейкий секрет, который застывает и превращается в шелк. Из шелковой нити она вьет кокон, размотав который, можно получить нить длиной от 300 до 1500 м.

Фото Т.Sheldon

другую, что достигается их регулярным чередованием. Кроме того, у нитей не должно быть выступающих «наростов», хвосты аминокислотных остатков должны иметь одинаковый размер или быть вовсе одинаковыми. Все это накладывает ограничения на аминокислотный состав. В роли регулятора толщины β-складки у фиброина обычно выступает маленькая аминокислота глицин — ее в фиброине очень много.

Тутовый шелкопряд — единственный производитель промышленного шелка. С древних времен для его получения люди использовали гусениц и других видов бабочек. В частности, древнеиндийский шелк возрастом 4,5 тыс. лет принадлежит двум ночным бабочкам-павлиноглазкам: антерее (*Antheraea*) и айлантовому шелкопряду (*Philosamia*). Это определили по толщине и грубой фактуре волокна из древних образцов, рассмотрев их под сканирующим электронным микроскопом. Правда, древние люди делали из него не ткань, а нити для бус. Шелк павлиноглазок широко известен и сегодня — под названием «дикий шелк». По прочности, теплоизоляционным свойствам и способности впитывать влагу он даже превосходит домашний тутовый. Главный

изъян, из-за которого дикие шелка не могут конкурировать с домашним, — разрывы в нити. Личинки неаккуратно обращаются с волокном, рвут его, склеивают, продырявливают коконы, из-за чего их невозможно размотать. Дикий шелк получают расчесыванием коконов и прядут. Нити из него толще, ткани — грубее, зато для плотных тканей, мебельной обивки и ковров он подходит лучше тутового.

Шелковый кокон — важный атрибут насекомых из отряда чешуекрылых, необходимый гусеницам для превращения в куколок, — есть и у других насекомых. Широко распространен шелк у цикадовых (отряд равнокрылых), в частности — у цикадпенниц, чьи личинки выкладывают на растениях комки пены, напоминающей слюну. Их пена — тоже застывший шелк. Другие цикады выстилают шелком норы, укрывают кладки. Шелковые оболочки есть у личинок некоторых жуков (отряд жесткокрылых), в отрядах сетчатокрылых и поденок. Самцы толкунчиков (семейство Empididae, отряд двукрылых) перед спариванием преподносят своим избранницам гостинцы в шелковой упаковке. Личинки ручейников (это еще один отряд насекомых), которые живут в труб-

чатых «домиках» из песчинок, кусочков коры и всякой грязи, ткнут нитчатые коконы и ловчие сети — в качестве цемента и строительного материала тоже шелк.

Японские исследователи из Национального института агробиологии в Цукубе проанализировали выделения нескольких видов ручейников-гидропсихид и выяснили, что в них содержится очень длинный белок с массой более 600 кД, в котором 95% длины приходится на повторяющиеся мотивы [2]. Также, как в шелке бабочек и пауков, в длинных молекулах ручейников многократно повторяются последовательности GPXGX и GGX (где G — остатки глицина, P — пролина, а X — остатки других аминокислот, один из которых гидрофобный, а другой — гидрофильный, обычно аргинин). А поскольку в них нет многократного повторения цепочек из аланина, исследователи пришли к выводу, что шелк ручейников больше похож на фиброин бабочек, нежели на спидроин.

Австралийские энтомологи Т.Сютерлэнд, Дж.Йонг, С.Вейсман и Д.Меритт собрали большую базу данных о насекомых-производителях шелка и нашли таких умельцев почти во всех отрядах [3]. У одних это преро-

гати́ва взрослых, у других — личинок. Вырабатывать шелк у насекомых могут самые разные выделительные органы, даже и негомологичные у разных видов. Шелковичный червь и гусеницы бабочек производят свою нить губными железами, которые у других насекомых вырабатывают слюну с пищеварительными ферментами или яды. У некоторых насекомых шелк выделяется из кожных желез, обычно тоже ориентированных на другие нужды: производство оболочек яиц и клея для их откладки, выработку питательной среды для спермиев, а у живородящих мух — для обеспечения эмбрионов пищей. Кожные железы открываются через хитиновый покров наружу или в протоки половой системы самок. У роющих ос сфецид их протоки выходят на брюшко взрослых самок и вырабатывают шелк для строительства гнезд.

В производстве шелка могут принимать участие даже мальпигиевы сосуды — органы выделения и осморегуляции, аналогичные нашим почкам. Именно

такого происхождения пена цикад, выстилка норок у личинок береговых поденок (семейство Polymitarcyidae), защитные сооружения трипсов — малоприметных вредителей культурных растений, коконы и выстилка норок некоторых растительноядных жуков, шаровидные коконы муравьиных львов и златоглазок. Чего только не делают насекомые из шелка: и материал для строительства защитных сооружений, и цемент для скрепления инородных частиц, и упаковка для пищи, и клей для кладок, и ловчая сеть (например, у личинок комариков-плоскусок). Сопоставив таксономическое положение всех шелкопрядов, происхождение шелковых желез и предназначение шелка, исследователи пришли к выводу, что в разных генеалогических линиях шелковые железы настраивались на производство шелка независимо. Похоже, способность к синтезу шелка — общее свойство насекомых.

И не только насекомых. Спидроин — главный белок нити пауков (она тоже вариант шел-

ка). В состав его молекул входит 2.5—3 тыс. аминокислотных остатков, длина их примерно такая же, как у фиброина, и у них та же модульная конструкция: те же С- и N-концевые группы и множественные повторы по середине. Так же, как и в шелке, в паутине есть β-складки, ответственные за прочность нити. Только получаются они не сближением нескольких молекул, а за счет складок внутри каждой, наподобие гармошки, они не длинные, а компактные и чередуются с фрагментами, свернутыми в клубки, богатые глицином, которые придают прочной «кристаллической» нити еще и растяжимость. Способностью к образованию внутренней складчатости спидроины обязаны участкам с многократным повторением аминокислоты аланина — это одна из особенностей спидроина, отличающая его от фиброина бабочек.

Итак, в двух классах членистоногих шелк есть. Есть ли что-нибудь похожее у представителей других классов?



Паутина под сканирующим электронным микроскопом. Диаметр волокон от 73 до 400 нм.

<http://em-lab.berkeley.edu/EML/images/backgrounds.php?PHPSESSID=87699184b34f0ca03564eb644a9e2505>

Клей ракообразных

Среди огромного множества раков есть один, чья способность намертво приклеиваться к субстрату давно беспокоит людей — это баянус, или морской желудь. Впрочем, это умеет не он один, а все представители усоногих раков, которые ведут сидячий образ жизни, одевшись в известковую раковину. Интерес к ним объясняется просто: усонogie раки любят поселяться на днищах судов, добавляя к их весу ненужные тонны. Чтобы облегчить посудине ход, приходится вытаскивать ее на берег и с большим трудом счищать живые наросты. Но стоит днищу оказаться в воде, мириады личинок баянусов снова атакуют его поверхность, чтобы бесплатно путешествовать по морям и океанам. Узнав секрет прочности их клея, можно было бы подобрать защитное покрытие.

Ответственность за выбор места жительства у усонюгих раков возложена на детей: особую личиночную стадию, которой нет у других ракообразных, — циприсовидную личинку. Она получила свое название за внешнее сходство с ракушко-вым раком под названием циприс. У личинок баянусов есть две независимые системы клейких желез: одна для временного прикрепления, другая — для постоянного. И третья — у взрослых рачков, которым по мере роста раковинки тоже приходится пользоваться клеем.

Коллектив исследователей из университетов в Твенте (Нидерланды) и Ньюкасла (Великобритания) вплотную занялся изучением системы прикрепления, которая действует на стадии поиска подходящего субстрата [4]. Личинка то прикрепляется, то открепляется: вероятно, у нее есть не только клей, но и «отклеиватель». Если это так, то растворитель клея мог бы помочь морякам в борьбе с обрастаниями. Но как получить это вещество для анализов, если личинка микроскопическая и капли у нее нанолитрового объема? Исследователи нашли выход: с помощью атомно-силового микроскопа они изучили липкие следы, оставляемые личинкой во время обследования местности. Выяс-

нилось, что вещество отпечатка — гликопротеид. Через несколько часов он обрастает бактериями и вскоре поедается ими. Конечно, это не шелк: ведь с ним бактерии не справились бы.

Но у взрослых баянусов клей совершенно иной. Биотехнологи из Института морских биотехнологий Шимицу (Япония) выяснили, что он на 94% состоит из белков гораздо короче шелковых и с другим аминокислотным составом [5]. Один из белков с молекулярной массой 19 кД, по их мнению, отвечает за приклеивание к субстрату благодаря свойствам преобладающих в нем аминокислот — серина, треонина, лизина и валина, которые могут образовывать водородные, электростатические и гидрофобные связи. Другой белок (20 кД) обладает способностью приклеиваться к минералам, содержащим кальций, что особенно важно для рачков с известковой капсулой. Он содержит много цистеина, высоким содержанием которого обычно объясняют способность молекул связываться друг с другом через дисульфидные мостики, как в кератине — белке волос, рогов и копыт.

Группа ученых во главе с Дэниэлом Риттшофом из Дюкского университета (штат Северная Каролина, США) обнаружила,

что механизм отверждения цемента баянусов очень похож на образование сгустков крови [6]. Так же, как и в ее плазме, в клейком секрете баянусов белок находится в растворимой форме и быстро превращается в клубок из фибрилл. Но самое интересное, что свертывание белка обеспечивает тот же фермент, который управляет свертыванием крови: трипсиноподобная сериновая протеаза. К той же группе протеаз относится и тромбин — фермент, запускающий превращение фибриногена в фибрин при образовании тромба. Выходит, прикрепление к субстрату для баянуса — что-то вроде лечения раны, и шелк тут вовсе ни при чем!

Среди ракообразных есть еще один отряд, который подзрывает в шелкопрядении. Это бокоплавы. В зарубежной литературе даже существует особый термин — «амфиподный шелк», т.е. шелк амфипод, в соответствии с научным названием отряда (Amphipoda). Он имеется у тех видов, которые строят трубчатые домики или роют норы. Железы с клейким секретом расположены у них в ножках или в боковых пластинках грудного отдела. Рак лапками вытягивает нити и оплетает ими попавшиеся частички или выстилает изнутри убежище-трубку.



Баянусы — сидячие рачки, навечно прикрепленные к постоянному месту жительства; справа — молодь рачков, поселившаяся на цементных следах от старых особей, которые жили здесь прежде. Белое море.

Фото А.А.Семенова



Заросли из построек дулихии на дне Белого моря; внизу — рачки на вершине своей постройки.

Фото А.А.Семенова

О химическом составе такого «шелка» известно немного. Аспирантка морской биологической станции в Милпорте (Великобритания) К.Кроненбергер, окрашивая трубки двух видов бокоплавов *Lembos websteri* и *Corophium bonnelli* альциановым красителем, выяснила, что в них присутствуют кислые мукополисахариды. Однако она не исключает наличия в трубках и белковых компонентов [7].

На Беломорской биологической станции МГУ несколько лет

назад зоологи, изучая подводный бентос, обнаружили, что во многих местах морское дно покрыто зарослями из палочек длиной до 15—20 см. Плотность построек порой превышала 2 тыс. на 1 м². Масштаб явления впечатлял, но понять, что это такое, удалось не сразу. Палочки рассматривали под электронным микроскопом, выделяли ДНК, но внятных результатов не получали. На срезах были видны цитоплазматические тяжи, бесформенная неживая масса с

примесью клеток бактерий и нитчатых водорослей и покрытая общей слоистой оболочкой. Генетический материал свидетельствовал о присутствии множества микроскопических организмов, которые поселились снаружи на палочках, и ничего не говорил о том, кто их сделал. Понятно было лишь одно: сами палочки не живые.

Погружаясь под воду, зоологи стали внимательнее присматриваться к загадочным конструкциям и обнаружили на них множество живых существ: молодь двустворчатых моллюсков, голожаберных моллюсков, губок, морских козочек. Но чаще всего на палочках встречались бокоплавыв под названием дулихия (*Dulichia bispina*). Именно они и оказались главными героями: палочки — результат их строительной деятельности. Дулихии строят мачты, чтобы, поднявшись над грунтом, вылавливать из воды взвешенные пищевые частицы и микроскопические водоросли. На каждом таком сооружении может находиться несколько дулихий, целая семья.

Это открытие не просто забавный зоологический факт. Материал, из которого дулихии строят подводные сооружения, может стать перспективным для биотехнологов. Вполне вероятно, что это тоже своего рода шелк. Изучение дулихий и их мачт стало одним из перспективных исследований на Беломорской биостанции МГУ. Студент биологического факультета Н.Неретин изучает поведение, распределение и размерно-возрастную структуру популяций этих необычных животных.

К исследованию дулихий подключились молекулярные биологи. Поиск гена, который кодирует белок шелка дулихий, стал одной из задач междунациональной школы по молекулярной зоологии, проходившей на биостанции осенью 2010 г. В работе приняли участие студенты и аспиранты из России, Германии, Великобритании и Румынии.

За изучение этого и других природных полимеров, которые синтезируют беспозвоночные, в том числе морские, взялась кафедра биоинженерии биологического факультета МГУ при сотрудничестве с Беломорской биостанцией и факультетом биомедицинской инженерии Университета Тафтс (США, штат Массачусетс).

Секреты членистоногих

Выходит, у раков настоящие шелка пока не найдены. А как обстоит дело у ближайших родственников членистоногих? В числе первых животных, освоивших сушу, были онихофоры — мягкие червеобразные существа с бархатной кожей. Похожие одновременно на червей и многоножек, а по существу ни на тех, ни на других не похожие, они еще не нашли своего места на генеалогическом древе животных.

Последние данные о митохондриальной ДНК позволяют объединить онихофоры с членистоногими и поместить их у основания ветви линяющих животных — Ecdysozoa [8, 9]. Эти хищники ловят свою добычу с помощью слизистых выделений из желез, расположенных по бокам головы, и вместе со слизью ее и заглатывают. Однако это не просто слизь: жидкий в момент

выбрасывания секрет при соприкосновении с жертвой мгновенно превращается в упругую сеть, чем напоминает шелк или паутину.

Это сходство навело на мысль о белковой природе секрета онихофор. И действительно, в их выделениях найдено несколько белков с молекулярной массой, соответствующей спидроинам и фиброинам [10]. Высокое содержание пролина и не очень высокое глицина придавало ему сходство с коллагеном — фибриллярным белком соединительной ткани животных с молекулами в виде тройной спирали.

Специалисты из австралийской Государственной организации научных и промышленных исследований с помощью рентгеноструктурного анализа выяснили, что это все-таки не коллаген и не шелк. Клейкая сеть онихофор содержит уникальные белки с нарушенным строением повторяющихся последовательностей без упорядоченной вторичной структуры [11]. Одна из особенностей этого белка — большое количество аминокислот с электрическим зарядом. Это, возможно, объясняет его клейкие свойства — белок прилипает к заряженным участкам покровов жертвы. Если слизь вытянуть и подсушить, она теряет клейкость и превра-

щается в нетканое полотно из нитей, нерастворимых в воде и некоторых других растворителях. Так что, пусть не шелк, но другой пептид с замечательными свойствами у онихофор все же нашелся.

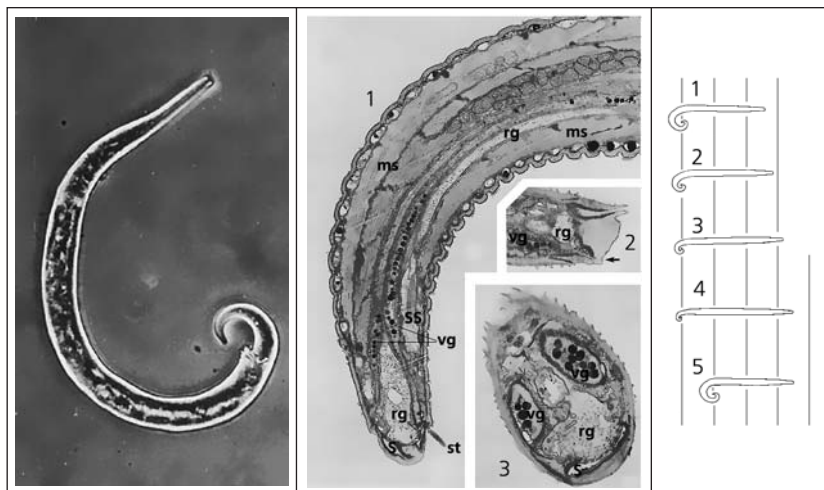
У круглых червей, нематод (на что уж странные родственники насекомых!) тоже есть клейкие выделения. Этих тонких, гладких и совсем не членистых созданий по разным генетическим параметрам надежно объединяют с членистоногими в группу линяющих животных Ecdysozoa. Когда речь заходит о нематодах, первыми вспоминаются аскариды и другие паразиты. Однако видов, живущих свободной и независимой жизнью, в этом типе животного царства гораздо больше. Они есть и в море, и в почве, и в пресных водах, копошатся в грунте, плавают в толще воды.

У свободноживущих нематод клей выработывают одноклеточные железы, расположенные в области «шеи» и в хвосте, который нужен для временного прикрепления к субстрату — ведь подавляющему большинству круглых червей цепляться больше нечем. А зацепиться нужно — чтобы противостоять течениям и для передвижения. Приклеиваясь поочередно (то шейей, то хвостом), можно шагать, подобно пяденице. Дейст-



Онихофора с каплей клейкого секрета, который эти хищники выбрасывают, охотясь на сверчков (справа).

www.invertarium.ru



Прыгающая морская нематода (истинный размер 0.5 мм). В середине — тонкое строение хвостового конца под трансмиссионным электронным микроскопом (ms — мышечные волокна, vg — клейкая железа, rg — проток железы, st — щетинка, s — просвет в окончании хвоста): 1 — продольный срез (увел. 12 500), на котором видно расширение выводной трубки железы и сенсорная щетинка; 2 — продольный срез через одну из выводных пор, стрелкой указано местоположение второй поры (увел. 17 800); 3 — косой срез возле конца хвоста. Заметны гранулы клейкого секрета (увел. 20 800). Справа — стадии прыжка: 1 — прикрепления, 2—4 — распрямления хвоста, благодаря которому совершается бросок вперед, 5 — прикрепление к субстрату и возвращение хвоста в подвернутое положение.

вительно, многие виды нематод используют такой способ. Но ведь это необычный клей, если он приклеивается и отклеивается мгновенно, да еще в жидкой среде!

И уж совсем супермоментальные свойства у секрета из хвостовой железы прыгающей морской нематоды (*Theristus caudasaliens*). Этот крошечный червь (всего 0.5 мм длиной) передвигается прыжками на подогнутом к брюху хвосте, распрямляясь подобно часовой пружине. После перелета он приземляется точно на кончик хвоста, подвернутого внутрь и чуть влево и готового к новому броску. Без спешки теристус делает два-три прыжка в секунду, а когда торопится — то четыре-пять. И клей успевает срабатывать. А клей ли это? Да, и еще какой! В момент посадки нематода так прочно прикрепляется к субстрату, что ее невозможно «сдуть» сильным течением из пипетки, не повредив животное

[12]. Якорная нить не тянется, ее трудно разорвать, она мгновенно затвердевает и может быть довольно длинной — по крайней мере относительно размеров самого червя.

Большинство нематод использует клейкий секрет для прикрепления к песчинкам. Изгибая тело, они подгребают к их хвосту, опутывают, а заодно укрепляют подвижный морской грунт. Если насыпать в чашку немного песка и поместить туда нематод, то вскоре весь песок склеится в комки. На 1 см² грунта может приходиться несколько сотен нематод разных видов, и заселено ими все дно. Масштаб противоэрозионной деятельности этих микроскопических существ и значение их клейкого секрета для других обитателей грунта впечатляет. По наблюдениям, живые нематоды могут использовать выделяемые нити для парашютирования в толще воды — совсем как молодь пауков в потоках воздуха.

Химическая природа секрета нематод пока неизвестна. Но есть предположение, что в нем содержатся белки, поскольку в клетках желез мощно развит шероховатый эндоплазматический ретикулум — фабрика белкового синтеза. Внутри железистых клеток много гранул овальной или шаровидной формы, окруженных мембраной. В хвосте каждой нематоды таких клеток обычно две или три, и гранулы в них разные: в одной чуть крупнее — 0.16–0.7 мкм (на электронных фотографиях они выглядят очень темными), в другой — мельче — 0.02–0.05 мкм (более светлые и слегка зернистые внутри). Считается, что из двух типов железистых клеток один синтезирует клей, а другой — растворитель для него.

Другие клейкие белки

Секреторные железы, ответственные за производство клейкого секрета, есть во многих группах низших животных. В первую очередь у интерстициальных — тех, что живут в капиллярных полостях между частицами грунта. Однако железы железам рознь. У многих беспозвоночных они производят мукополисахариды (например, у головоногих моллюсков) или короткие белки (как у многощетинковых червей), что служат цементом для строительства их домиков.

Вспененный белковый клей сидячей полихеты (*Phragmatopoma californica*) отвердевает благодаря образованию комплексов с ионами металлов из морской воды, с последующей конденсацией и обезвоживанием. В Университете штата Юта уже получен синтетический аналог этого полимера, который предполагают использовать для сращивания костных переломов [13]. Двойные железы из клеток с клейким секретом и с растворителем есть у турбеллярий-триклад и гастротрих. Особым богатством адгезивных смесей отличаются паразиты:



Голотурия со стреляющими трубками, которые она выпускает в случае беспокойства.

Фото W.Poelzer



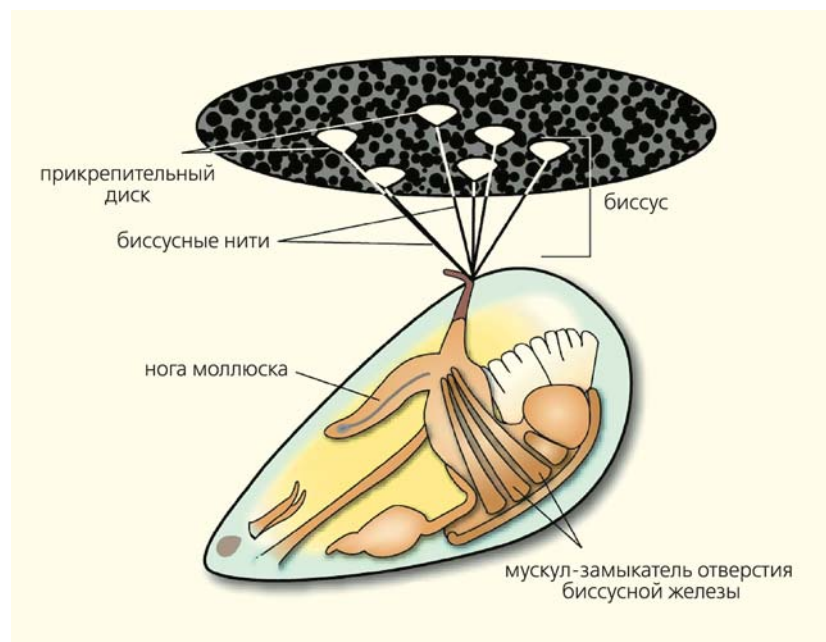
Полихеты, использующие при строительстве своих трубчатых домиков белковый клей.

Фото Ch.Webber

ведь им необходимо надежно прикрепляться к телу жертвы. Белки с мягкой консистенцией и высоким содержанием глицина и аланина найдены у семи видов паразитических плоских червей-моногоней [14]. Очень длинные пептиды обнаружены у иглокожих. В частности, в стреляющих кювьеровых органах голотурий. В случае беспокойства они выбрасывают в во-

ду липкие и тягучие нити, иногда даже с ядом. Исследователи из Университета в Монса (Бельгия) выделили из них смесь белков и разделили путем электрофореза. Из 10 полученных фракций в двух молекулы оказались с высоким содержанием глицина и очень крупными — более 150 кД [15]. Такого же размера белки найдены в липких следах от амбулакаральных но-

жек морских звезд и ежей. Хотя к шелку все эти клейкие вещества отношения не имеют, большой интерес к ним вызван тем же: поиском новых материалов с полезными свойствами. Обнаруженные биополимеры проявляют адгезивные свойства в жидкой среде, быстро схватываются, пригодны для склеивания живых тканей и, вероятно, биологически безопасны.



Мидия, прикрепленная к камню своим универсальным клеем — биссусом. Справа — схема прикрепительной системы.

Фото M.Zinkova

Наибольшие успехи достигнуты на пути к использованию биссуса — нитей двустворчатых моллюсков, которыми они прикрепляются к камням. За прочность и эластичность природный биссус получил название «морской шелк». Однако биотехнологов больше интересует его способность быстро и надежно приклеиваться к любым поверхностям — стеклу, камням, пластику и даже к тефлону. Биссусная нить представляет собой коллагеновый тяж в зернистой белковой обертке. Секрет универсальности клея моллюсков — в полифенольных

белках с повторяющимися остатками лизина и 3,4-дигидрокси-L-фенилаланина (ДОФА). Такие повторы придают белку способность образовывать массу ковалентных и нековалентных связей, а значит, и присоединяться к различным субстратам [16]. К тому же ДОФА легко образует хелатные связи с металлами и полуметаллами, в том числе — с кремнием, чем может объясняться прикрепление к камням и стеклу.

Очищенные белки натурального биссуса уже есть в продаже. Первыми им заинтересовались дантисты: им остро не хва-

тает цемента для склеивания живых тканей и титановых имплантантов. Одна беда — этот материал очень дорог: для получения одного грамма белка из биссуса нужно 10 тыс. мидий. Несколько биотехнологических компаний, в том числе Sigma-Aldrich, Шведская лаборатория BioScience и BD Biosciences Clontech, выделили белок MEFP и сделали рекомбинантный, вставив соответствующий ген в геном дрожжей. Однако до широкого производства дело пока не дошло: синтетический биссус все еще дорог и по качеству сильно уступает натуральному. ■

Литература

1. *Omenetto F.G., Kaplan D.L.* New Opportunities for an Ancient Material // *Science*. 2010. V.329. №5991. P.528—531.
2. *Yonemura N., Sebnal F., Mita K., Tamura T.* Protein composition of silk filaments spun under water by caddisfly larvae // *Biomacromolecules*. 2006. V.7. №12. P.3370—3378.
3. *Sutherland T.D., Young J.H., Weisman S. et al.* Insect Silk: One Name, Many Materials // *Annu. Rev. Entomol.* 2010. V.55. P.171—88.
4. *Pbang I.Y., Aldred N., Clare A.S., Vancso G.J.* Towards a nanomechanical basis for temporary adhesion in barnacle cyprids (*Semibalanus balanoides*) // *J. R. Soc. Interface*. 2008. V.5. P.397—401.
5. *Kamino K., Inoue K., Maruyama T. et al.* Barnacle cement proteins. Importance of disulfide bonds in their insolubility // *J. Biol. Chem.* 2000. V.275(35). P.27360—27365.
6. *Dickinson G.H., Vega I.E., Wabl K.J. et al.* Barnacle cement: a polymerization model based on evolutionary concepts // *J. Exp. Biol.* 2009. V.212 (Pt 21). P.3499—510.
7. *Kronenberger K., Moore G.f & Hannah F.* Amphipod silk: its biology, microbiology and biotechnology // http://www.gla.ac.uk/marinestation/research/amphipod_silk.htm, 16 Aug 2007
8. *Podsiadlowski L., Braband A., Mayer G.* The Complete mitochondrial genome of the onychophoran *Epiperipatus biolleyi* reveals a unique transfer RNA set and provides further support for the Ecdysozoa hypothesis // *Molecular Biology and Evolution*. 2008. V.25. P.42—51.
9. *Rota-Stabelli O., Kayal E., Gleeson D. et al.* Ecdysozoan mitogenomics: evidence for a common origin of the legged invertebrates, the Panarthropoda // *Genome Biol. Evol.* 2010. №2. P.425—440.
10. *Betz O., Gregor K.* The role of adhesion in prey capture and predator defence in arthropods // *Arthropod Structure & Development*. 2004. V.33. №1. P.3—30.
11. *Haritos V.S., Niranjane A., Weisman S. et al.* Harnessing disorder: onychophorans use highly unstructured proteins, not silks, for prey capture // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2010. V.77(1698). P.3255—3263.
12. *Adams P.J.M., Seth T.* Hopping locomotion in a nematode: Functional anatomy of the caudal gland apparatus of *Theristus caudasaliens* sp. n. // *Journal of Morphology*. 1980. V.164. №3. P.265—285.
13. *Stewart R.J., Weaver J.C., Morse D.E., Waite J.H.* The tube cement of *Phragmatopoma californica*: a solid foam // *J. Exp. Biol.* 2004. V.207 (Pt 26). P.4727—4734.
14. *Whittington I.D., Cribb B.W.* Adhesive secretions in the Platyhelminthes // *Adv. Parasitol.* 2001. V.48. P.101—224.
15. *DeMoor S., Waite J.H., Jangoux M., Flammang P.* Characterization of the adhesive from cuvierian tubules of the sea cucumber *Holothuria forskali* (Echinodermata, Holothuroidea) // *Mar. Biotechnol. (N.Y.)*. 2003. V.5. №1. P.45—57.
16. *Lee H., Dellatore S.M., Miller W.M., Messersmith P.B.* Mussel-inspired surface chemistry for multifunctional coatings // *Science*. 2007. V.318. P.426—430.

Кругосветные плавания вольного шкипера Августа Риделя

Л.М.Свердлов

Капитаны кораблей парусного флота, совершившие несколько кругосветных плаваний, встречаются в истории не часто. Из русских военных моряков только Михаил Петрович Лазарев ходил вокруг света капитаном трижды — на кораблях «Суворов» (1813—1816), «Мирный» (1819—1821) и «Крейсер» (1822—1825). Те же, кому в середине XIX в. довелось командовать парусным судном в кругосветном плавании более трех раз, были большой редкостью и в Европе. К таким уникальным мореплавателям относится подданный Российской Империи, уроженец Финляндии, вольный шкипер Август Вильгельм Ридель. К сожалению, сегодня он совершенно забыт. Его имя если и встречается, то только в специальной литературе, да и то мельком.

В середине XIX в. российские территории в Восточной Сибири, в частности в Приамурье и на Камчатке, а также владения в Северной Америке (колонии на Аляске, так называемая Русская Америка) постоянно нуждались в устойчивом снабжении продовольствием и промышленными товарами. Доставка грузов через Сибирь была сложной и дорогостоящей. Кругосветные плавания российских моряков, финансируемые Российско-американской компанией (РАК),



Леонид Михайлович Свердлов — действительный член Русского географического общества, почетный полярник. Автор четырех книг и более 30 научных и научно-популярных статей в различных российских и зарубежных периодических и специализированных изданиях. Многолетний автор «Природы». Область научных интересов — история арктического мореплавания, Русская Америка.

во многом облегчали задачу снабжения этих отдаленных регионов, но к 40-м годам XIX в. и их оказалось явно недостаточно. К тому же такие плавания были весьма затратны, в том числе из-за того, что выполнялись на военных кораблях.

В какой-то степени острота вопроса была снята соглашением между РАК и британской Компанией Гудзонова залива (КГЗ), заключенным в Гамбурге 25 января 1839 г. Англичане брали на себя обязательство доставлять в Русскую Америку товары и продовольствие (пшеницу, муку, масло и т.д.) по фиксированному ценам и на собственных кораблях [1. С.172]. Однако при всем удобстве перевозки товаров на Аляску судами КГЗ через Англию это не могло полностью удовлетворить все потребности РАК. Положение осложнилось тем, что КГЗ в связи с потерей факто-

рий и ферм в бассейне р.Колумбия, перешедших в 1846 г. к США, отказалась поставлять продовольствие в русские колонии [1. С.178—179].

В связи с этим Главное правление РАК изыскивало способы морского сообщения с колониями непосредственно из России и на судах, которые находились бы в исключительном распоряжении компании. Однако приобретение в собственность кораблей в количестве, необходимом для организации постоянного сообщения с Тихоокеанским Севером, требовало средств, превосходящих возможности компании. Поэтому было принято решение о фрахте купеческих кораблей, которые при этом поступали бы в полное распоряжение РАК [2. С.19].

Наиболее подходящими для фрахта были отечественные корабли. Главное правление обра-

© Свердлов Л.М., 2011

тило внимание на мореходные компании Финляндии, входившей тогда в состав Российской Империи. Центром мореходства Финляндии был город-порт Або (финское название Турку). Здесь находилось Штурманское училище, имелось Мореходное общество. Посредством финской компании «Эрик Юлин и Ко» в Або были зафрахтованы два новых дубовых корабля с медными скреплениями: в 1846 г. «Ситха» (капитан Ю.Я.Конради), а в 1847 г. — «Атха», которым командовал А.В.Ридель.

Так Ридель попал на службу в РАК, в которой прослужил многие годы и пять раз, находясь в кругосветных плаваниях, из Европы достигал берегов Аляски. В этих плаваниях он шесть раз прошел мимо мыса Горн и трижды — вокруг мыса Доброй Надежды.

Август Вильгельм (Фредрик-сон) Ридель появился на свет 13 сентября 1813 г. Его отец, владелец ресторана Фредрик Якобсон Ридель (Ридельс), родился 4 августа 1780 г. в г.Або, а умер 29 июня 1813 г. (мальчик родился уже после кончины отца). Мать, Густава Альбертина (Карлсдоттер) Линдеберг, родилась 16 января 1786 г. в г.Кимито в семье сержанта Карла Йохана Линдеберга. Овдовев, Густава Альбертина Ридель в 1814 г. вышла замуж во второй раз — т.е. в детстве Август Вильгельм воспитывался отчимом.

С 13 сентября 1823 г. до конца осени 1826 г. Август Вильгельм учился в кафедральной школе Або. В 1827—1830 гг. он был учеником в торговых фирмах, а в 1831 г., в возрасте 17 лет, вышел из Стокгольма в свое первое морское плавание палубным матросом. На корабле он попал в Венецию, а затем его судно вернулось с грузом соли в родной порт. В 1832 г. он снова отплыл из Стокгольма матросом на бриге «Мария», но уже в Южную Америку, до Рио-де-Жанейро и обратно.

В октябре 1833 г. Риделя принимают в Штурманское училище

Або. За годы учебы он берет частные уроки английского языка и парусного дела. Весной 1836 г. он получает диплом навигатора (штурмана, а фактически помощника капитана) с правом ходить в открытом океане. В качестве помощника капитана Ридель совершает многочисленные плавания в Средиземное море и обратно. В апреле 1836 г. он переезжает из Або в Бьернеборг и становится членом Дома моряков этого портового города. В дальнейшем он продолжает плавать на различных торговых судах, сначала штурманом, а после сдачи квалификационного экзамена — в качестве шкипера (капитана).

В 1841 г. Ридель женится на Катарине Эмилии Буш — 20-летней девушке из Риги. Известно, что первые два года после свадьбы она провела на судах вместе с мужем. У них было пятеро детей: Фридрих Вильгельм (1843—1895), Карл Август (1845—1849), Адольф Эмиль (1847—1858), Элиза Августа (1850—1932), Йохан Франц Георг (1852—1925)*.

В начале августа 1847 г. Ридель, находясь на капитанском мостике корабля «Атха», отправился из Або в свое первое кругосветное плавание под флагом РАК. Его старшим помощником в этом плавании был Карл Юхан Халлен [3. С.564]. Первая погрузка «Атхи» прошла в Кронштадте. На борт были взяты русские товары на сумму 54 023 руб. 73 коп. серебром. Покинув Кронштадт 17 августа 1847 г., судно направилось в Лондон, где загрузилось английскими товарами на сумму 93 121 руб. 39 коп. серебром. 19 октября «Атха» вышла из Лондона и отправилась на Аляску вокруг мыса Горн, по пути посетив Рио-де-Жанейро (Бразилия) и Вальпараисо (Чили). В столицу Русской Америки — г.Ново-Ар-

хангельск — «Атха» пришла 16 апреля 1848 г. На ее борту для службы в колониях прибыли российский шкипер И.В.Линденберг, гражданский чиновник А.Я.Рутковский, поручик корпуса горных инженеров П.П.Дорошин и 35 рабочих, нанятых РАК. Петр Петрович Дорошин проработает в колониях до июня 1853 г. Им будет найдено первое золото на Аляске (1850—1851), а также открыты залежи каменного угля.

12 мая 1848 г. Ридель отправляется с грузами и пушниной для Аянской фактории и грузами для Камчатки. В Аян (порт на берегу Охотского моря) судно пришло 29 июня и, приняв грузы для колоний, 27 июля ушло в Петропавловск [4. С.18].

Вернувшись в Ново-Архангельск 13 октября, «Атха» взяла груз для России и, посетив по пути Сандвичевы (Гавайские) о-ва, Рио-де-Жанейро и Копенгаген, благополучно прибыла в Кронштадт 21 июня 1849 г. На судне было доставлено товаров на 30 410 руб. 46 коп. серебром и 18 человек пассажиров [5. С.18—19].

Особо следует отметить, что с Риделем из Петропавловска (через Ново-Архангельск) прибыл Илья Гаврилович Вознесенский — натуралист и коллекционер, который по заданию Зоологического музея Академии наук с 1840 г. работал на Аляске, в Калифорнии и на Дальнем Востоке, где собрал огромную коллекцию ботанических, зоологических, геологических и этнографических материалов. На «Атхе» он привез с собой 54 ящика с коллекциями (более 430 экз. различных видов млекопитающих, около 3 тыс. экз. птиц и рыб, свыше 10 тыс. экз. насекомых, гербарий из 2 тыс. образцов сухопутных растений и морских водорослей), а также многочисленные зарисовки, схемы и описания. В результате Российская академия наук получила крупнейшее в мире собрание этнографических и естественно-исторических экспонатов с Дальнего Востока и из Русской Америки [6].

* Материалы из финских архивов о частной жизни А.В.Риделя любезно предоставила автору финская исследовательница Мария Ярлсдоттер Энкель, за что автор выражает ей искреннюю благодарность.

В 1848 г. были открыты золотые россыпи в Калифорнии. Это привело к повышению спроса на продовольствие и, как следствие, к удорожанию хлеба и другого провианта, покупаемого РАК в Калифорнии для снабжения Аляски. В связи с этим возросла значимость доставки хлеба из России морским путем. Посылка ржаной муки из Кронштадта в колонии в 1847—1848 гг. увенчалась полным успехом, поэтому было решено и в 1849 г. отправить в Ново-Архангельск груз муки и крупы в таком количестве, чтобы полностью обеспечить Русскую Америку и сохранить цены на главный продукт питания на прежнем уровне [5. С.36—38].

17 июля 1849 г. Ридель на корабле «Атха» отправился из Кронштадта в свое второе кругосветное плавание. Его старшим помощником был назначен Карл Густав Линдруус [3. С.305]. На судне находились разные русские мануфактурные товары и продовольствие на сумму 62 085 руб. 17 коп. серебром.

В Лондоне корабль дополнительно загрузили английскими товарами. Пройдя тем же маршрутом, что и в первый раз, и опять посетив Рио-де-Жанейро и Вальпараисо, «Атха» прибыла в Ново-Архангельск 28 марта 1850 г. На ее борту для занятия должностей судовых командиров флота в колонии прибыли лейтенанты В.И.Мацкевич и П.А.Вицкий, а также 32 военных матроса и трое рабочих [7. С. 18, 20].

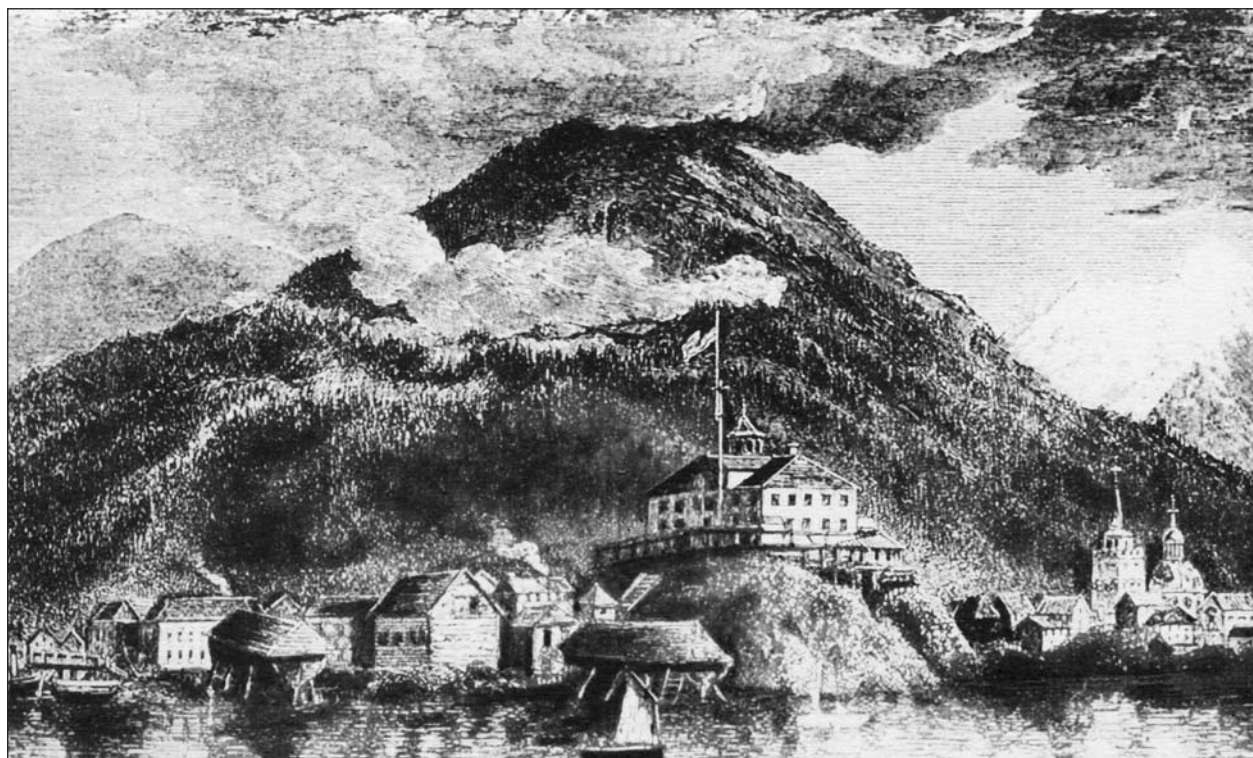
21 мая «Атха» была отправлена с годичным грузом колониальных промыслов в Аян, а оттуда в Петропавловск — для доставки в разобранном виде дома, изготовленного из оregonской сосны в Ново-Архангельске и предназначавшегося камчатскому комиссионеру РАК. Из Аяна в Петропавловск на борту «Атхи» прибыл новый военный губернатор Камчатской обл. капитан 1-го ранга Василий Степанович Завойко, который во время Крымской войны будет руководить обороной Петропавловска от нападения англо-

французской эскадры и высадившегося на берег 18—24 августа 1854 г. десанта.

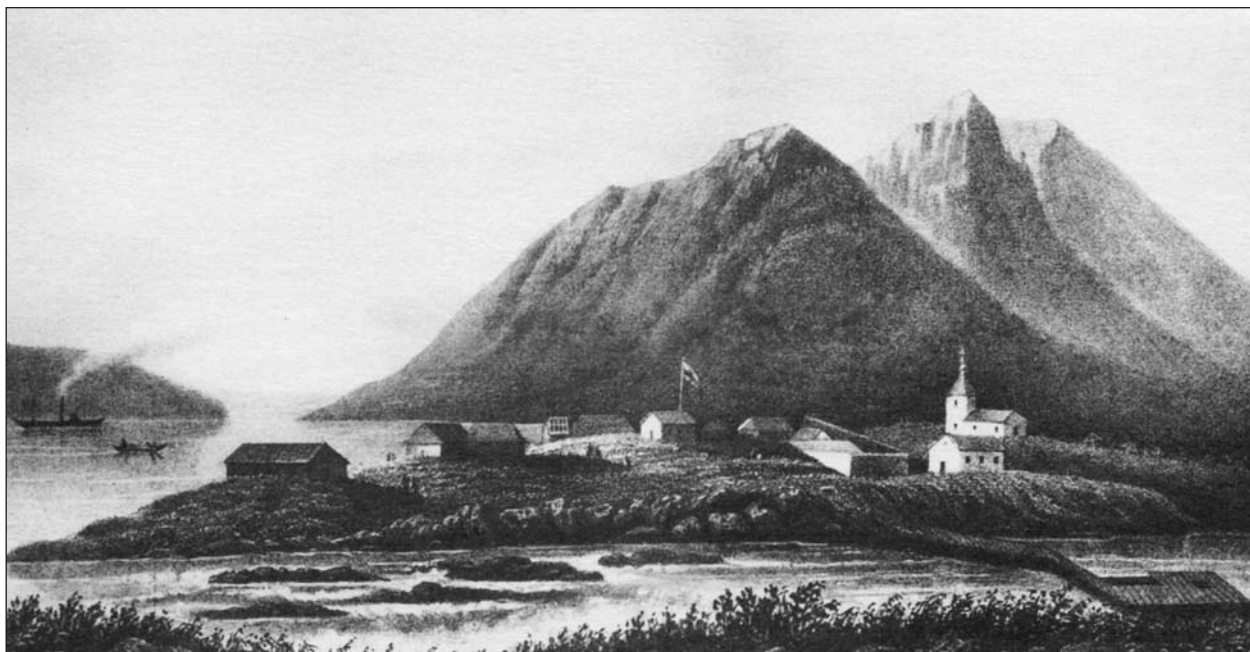
После возвращения из Петропавловска с 1 октября по 22 ноября 1850 г. «Атха» простояла в Ново-Архангельском порту. Было необходимо отремонтировать днище, для чего судно было вытаснено на берег [7. С.18, 28].

22 ноября «Атха» отправилась в Россию и, посетив по пути о.Таити, Рио-де-Жанейро и Копенгаген, спустя 177 дней плавания благополучно прибыла в Кронштадт 18 мая 1851 г. Из Ново-Архангельска были привезены добытые в колонии меха, 489 ящиков цветочного чая и 63 фунта калифорнийского золота. На «Атхе» возвратились из колонии бывший главный правитель Русской Америки капитан 1-го ранга М.Д.Тебенков с семьей, штаб-лекарь И.Б.Иваницкий и еще 22 человека пассажиров [7. С.18].

Следует особо отметить, что в 1849 г. произошли первые продажи товаров РАК в Калифорнии за золотой песок. На корабле



Ново-Архангельск. Середина 1860-х годов. Рисунок Ф.Уимпера.



Озерский редут на о.Ситха. 1861 г.

«Князь Меншиков» в Ново-Архангельск было доставлено 1 пуд 23 фунта 45 золотников песка. И именно это золото отправилось в Петербург на «Атхе». Оно было сдано на Санкт-Петербургский монетный двор, и за него Главным правлением РАК было получено 16 787 руб. 59 коп. серебром [7. С. 26—27]. Однако еще раньше в Петербурге появилось калифорнийское золото, добытое горным инженером П.П.Дорошиным. В декабре 1848 г. с группой старателей РАК (включая шесть индейцев тлинкитов) он был отправлен в Калифорнию на барке РАК «Князь Меншиков» (капитан А.И.Рудаков) для работ на золотых приисках. На р.Юби с 26 февраля по 16 апреля они намыли 11 фунтов 53 золотника золота. Часть этого золота была потрачена, а остальное на корабле «Ситха» (капитан И.Я.Конради) было доставлено в Санкт-Петербург в 1850 г. [7. С.33].

Как отмечало Главное правление РАК, продолжавшиеся несколько лет опыты кругосветных сообщений с колониями на фрахтованных финляндских кораблях вполне убедили, что плавание между Кронштадтом и Но-

во-Архангельском может совершаться успешно и с достаточной быстротой. Кругосветные суда по прибытии в Ново-Архангельск имеют возможность служить от четырех до пяти месяцев в колониальных морях для плавания по назначению главного правителя колоний и, отправляясь осенью обратно, возвращаться в Кронштадт с открытием навигации, чтобы в том же году иметь время выйти с новым грузом в колонии [7. С.9]. Поэтому посылка на Аляску зафрахтованных в Финляндии кругосветных кораблей продолжилась.

В свое третье кругосветное плавание Ридель отправился из Або на «Атхе» 4 октября 1851 г. с грузом продовольствия и товаров для Камчатки и Аляски. На этот раз его старшим помощником стал Франс Фредерик Сёдерман [3. С.479]. Пройдя мыс Горн, корабль Риделя посетил Вальпараисо, где принял дополнительный груз, и прибыл в Петропавловский порт 20 мая 1852 г. [8. С.22]. 27 июля «Атха» пришла в Ново-Архангельск, откуда вскоре была отправлена со снабжением на острова Унга, Уналашка и Кадьяк. По выполне-

нии этого поручения Ридель возвратился в Ново-Архангельск. После подготовки к длительному плаванию в Россию «Атха» с грузом товаров, промыслов и пассажирами 28 ноября отправилась в г.Шанхай (Китай), где на судно был погружен заранее приготовленный чай. Посетив по пути г.Анжер на о.Ява, о.Св.Елены и г.Гельсингер (Хельсингер) в Дании, Ридель прибыл в Кронштадт 15 июля 1853 г. [9. С.17]. В этот раз обратный путь «Атхи» лежал вокруг Африки. После возвращения из кругосветного плавания заслуженный ветеран океанских походов — барк «Атха» — был списан и разобран.

Торговые обороты РАК постоянно возрастали. В 1852 г. были организованы пять кругосветных плаваний, и в 1853 г. также предстояло отправить значительное количество грузов в Аян, на Камчатку и в американские колонии. Для доставки этих грузов предполагалось, кроме нового корабля «Ситха» водоизмещением 1.2 тыс. т, который уже строился с 1852 г. по заказу РАК в Гамбурге, зафрахтовать еще одно крупное судно. Но так как цены на фрахт значительно вырос-

ли, выгоднее оказалось приобрести за границей еще один большой корабль для кругосветных плаваний. Покупка такого судна была поручена члену Главного правления РАК контр-адмиралу А.К.Этолину. Он приобрел в Гамбурге на довольно выгодных условиях новое дубовое трехмачтовое судно водоизмещением 900 т с полным парусным вооружением. Это судно было названо «Камчатка», и по указаниям Этолина его подготовили к кругосветному плаванию. Этолин лично осмотрел в Гамбурге товары и продовольствие, готовые к отправке в колонии, распределил их по новым кораблям «Ситха» и «Камчатка» и укомплектовал суда командами [10. С.7–8]. Капитаном на «Ситху» был назначен Конради, а на «Камчатку» — Ридель. Так Ридель отправился в свое четвертое кругосветное плавание. Его старшим помощником в этом рейсе был Юхан Адольф Линдберг [3. С.303].

С грузом хлеба и разного рода товаров для Петропавловска «Камчатка» вышла из Гамбурга 28 ноября 1853 г. и, пройдя привычным маршрутом вокруг мыса Горн, прибыла в Петропавловский порт 20 июня 1854 г. перед самым началом военных действий на Тихом океане в ходе Крымской войны. Риделю удалось беспрепятственно пройти и из Петропавловска в Ново-Архангельск, куда «Камчатка» прибыла 2 октября 1854 г.

Куда меньше повезло Конради. По пути в Петропавловск из Аяна (куда он перед тем доставил груз колониальной пушнины), недалеко от входа в Авачинскую губу, его корабль «Ситха» в ночь с 26 на 27 августа 1854 г. был захвачен англо-французской эскадрой. Плененная команда «Ситхи» была перевезена на английский 50-пушечный фрегат «Президент», а пассажиры помещены на французский фрегат «Эвридика». Корабль РАК вместе с находившимся на нем грузом был признан законным военным трофеем, отправлен во Францию и там продан. Это была первая

потеря РАК в Крымской войне. Ущерб от утраты судна и находившегося на нем груза составил 91 529 руб. серебром [11. С.47]. Всего в результате военных действий РАК потеряла три судна — помимо «Ситхи» были утрачены «Шелихов» и «Охотск».

20 октября 1854 г. «Камчатка» отправилась в Сан-Франциско с грузом леса. Риделю и на этот раз удалось избежать встречи с англо-французскими крейсерами у берегов Калифорнии и английским фрегатом, стоявшим у входа в залив Сан-Франциско. От этой последней опасности «Камчатка» была избавлена оперативными действиями агента РАК в Сан-Франциско П.С.Костромитинова. Узнав о приближении судна, он немедленно выслал к нему американский пароход, который взял «Камчатку» на буксир и сопроводил в порт. В порту корабль был в полной безопасности. Но, так как английские военные корабли могли захватить его на обратном пути, было решено оставить его в Сан-Франциско до окончания военных действий [11. С.45]. Первого января 1855 г. к «Камчатке» присоединился и корабль РАК «Николай I».

Снабжение колоний кругосветными кораблями из России во время военных действий было невозможно. Поэтому главному правителю колоний было предоставлено право закупать необходимые товары и продовольствие в Чили и Калифорнии и доставлять их на судах нейтральных стран.

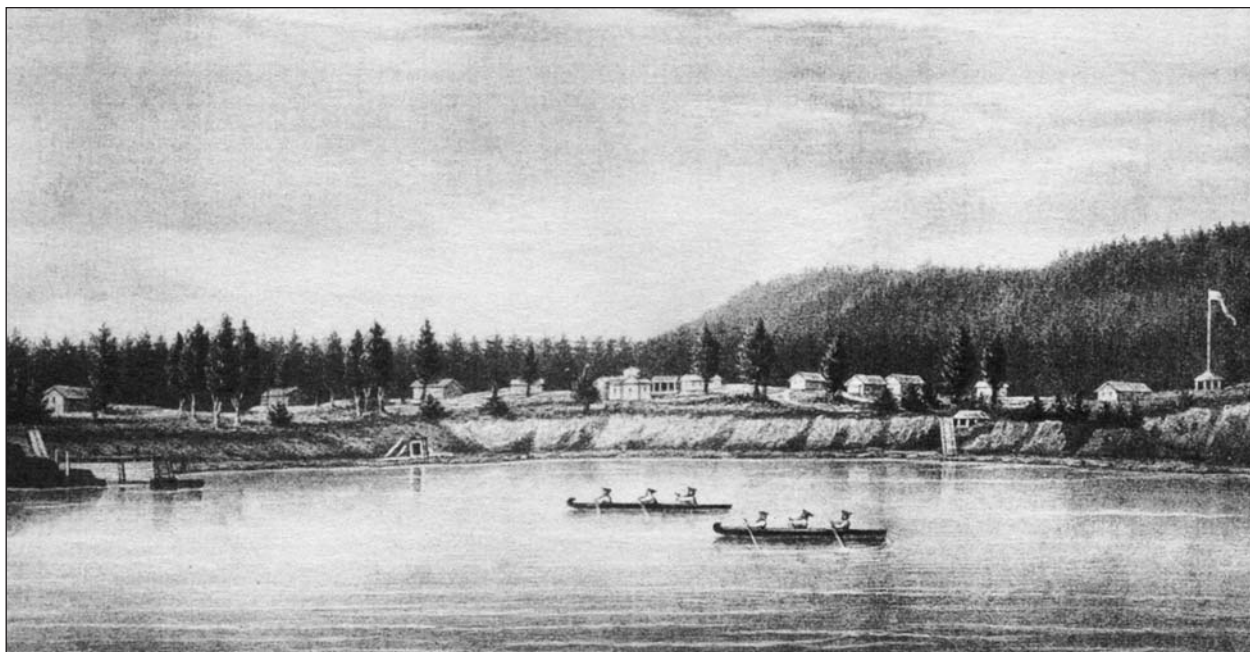
В связи с этим представляет интерес судьба грузов для военно-морского флота. Независимо от ежегодной посылки товаров на Камчатку Главное правление РАК еще до начала Крымской войны обязалось доставить в 1854 и 1855 гг. в Петропавловск значительный груз муки и крупы для Морского ведомства. Продовольствие на 1854 г. было отправлено из Гамбурга на собственном корабле РАК «Камчатка» и зафрахтованной «Магдалене». Плавание «Камчатки», как уже го-

ворилось, прошло благополучно, а «Магдалена» пришла в Петропавловск незадолго до его посещения англо-французской эскадрой, находилась там во время бомбардировки порта артиллерией неприятельских кораблей и получила несколько незначительных повреждений. Они были исправлены на месте, и после ремонта судно возвратилось в Европу [11. С.54]. Что касается продовольствия на 1855 г. (36 тыс. пудов муки и 1,7 тыс. пудов крупы), то, учитывая невозможность доставки его из Европы, оно было куплено в Нью-Йорке и отправлено на Камчатку на зафрахтованном американском корабле «Левантер» в декабре 1854 г. Однако по прибытии корабля в Петропавловск американцы никого там не нашли, так как порт был упразднен в связи с военными действиями. Сдать груз было некому, поэтому они отправили его в Сан-Франциско и передали для хранения агенту РАК. Впоследствии Морское ведомство признало нерациональным везти этот провиант в Сибирь и уступило его РАК [11. С.54–55]. По окончании военных действий в 1856 г. суда «Камчатка» и «Николай I» доставили это продовольствие в Ново-Архангельск.

После возвращения из Сан-Франциско «Камчатка» отправилась с грузом промыслов в Аянский порт, вернулась оттуда в Ново-Архангельск 6 октября и стала готовиться к плаванию в Россию. 22 ноября 1856 г. Ридель покинул колонии. Он повторил маршрут последнего плавания на «Атхе» и, загрузив в Шанхае чай и посетив г. Анжер в Зондском проливе, о.Св.Елены и Гельсинер, в июне 1857 г. прибыл в Кронштадт [12. С.23–24].

По окончании этого плавания Ридель оставил службу в РАК и вернулся домой в Финляндию. В свое новое кругосветное плавание «Камчатка» вышла 27 сентября 1857 г. под командованием шкипера А.Г.Юзелиуса.

В 1852 г. у РАК появился новый вид коммерческой деятель-



Вид селения при угольных копах в Кенайском заливе. 1860 г.

ности — торговля льдом в Калифорнии. 21 октября 1852 г. была создана Американско-русская торговая компания, которая по договору с РАК обязалась покупать лед в количестве 1.2 тыс. т ежегодно. На Аляске началась добыча озерного льда, а для его хранения построили специальные ледники [9. С.20, 23]. Основная добыча велась в Ново-Архангельске, на островах Кадьяк и Еловый. Там даже была сооружена специальная пристань. К 1859 г. продажа льда в Сан-Франциско составила 3 тыс. т.

К 1858 г. для перевозки значительных грузов в Тихом океане, и в первую очередь доставки льда в Калифорнию, РАК понадобилось судно большой вместимости. Вскоре в Гамбурге был приобретен построенный в Бостоне американский клипер «Coeur de Lion» водоизмещением 1.9 тыс. т (по убеждению П.Н.Головина — 946 т [13. С.64]). Изготовленный из дуба с медными скреплениями, при осмотре в Гамбурге он показался присяжным кораблестроителям довольно прочным. О быстроте хода и большой вместительности этого судна было известно по

его многочисленным плаваниям. Клипер был приобретен компанией за 70 тыс. руб. серебром с условием его перевода в Кронштадт. Сразу после покупки он получил новое имя — «Царица».

Этот корабль мог вместить не только весь груз РАК, отправляемый из Кронштадта и Гамбурга в колонии, но еще и — в большом количестве — дополнительный. Поэтому Главное правление РАК обратилось в Морское министерство с предложением о доставке и его грузов на Дальний Восток. У министерства как раз была такая необходимость, и по приказанию генерал-адмирала великого князя Константина на «Царицу» было погружено 42 тыс. пудов для Приамурского края [14. С.26—27].

Командование «Царицей» принял вернувшийся к тому времени на службу в РАК Ридель. В свое пятое кругосветное плавание он взял с собой старшего сына, пятнадцатилетнего Фридриха Вильгельма. «Царица», приняв груз и пассажиров, 6 сентября 1858 г. отправилась из Кронштадта в Гамбург, откуда после получения остального груза для колоний 12 ноября вышла в кру-

госветное плавание. Однако уже в Немецком (Северном) море корабль попал в сильный шторм и получил серьезные повреждения. Для ремонта пришлось зайти в английский порт Плимут. Пассажиры и грузы для колоний были отправлены на зафрахтованном в Плимуте иностранном судне «Иоганн Кеплер». Ремонт «Царицы» оказался серьезным, поэтому в море она смогла выйти только 26 мая 1859 г. Судно отправилось к р.Амур для сдачи находившегося на нем казенного груза. За два с половиной месяца Ридель прошел путь из Плимута вокруг мыса Доброй Надежды до Зондского пролива в Яванское море. Правлением РАК столь быстрый переход парусного судна был отмечен как «весьма замечательный» [14. С.28, 36].

К устью Амура в залив Де-Кастри «Царица» прибыла 22 сентября 1859 г. Там был сдан груз Морского министерства. Из Приамурья Ридель отправился в российские колонии на Аляске, и 5 декабря клипер пришвартовался в порту Ново-Архангельска [15. С.19—20]. Из Англии «Царица» привезла сюда в бал-

ласте ньюкаслский уголь, который впоследствии был продан в Сан-Франциско. В Калифорнию его доставил Н.Х.Бенземан на барке РАК «Нахимов» в 1860 г.

2 апреля 1860 г. «Царица» была отправлена к о.Лесному для загрузки льдом. Доставив в Сан-Франциско за три рейса 2264 т льда, а на о.Кадьяк из Калифорнии — разное продовольствие, Ридель возвратился в Ново-Архангельск 25 ноября 1860 г. с грузом соли, пшеницы и других продуктов питания [16. С.49].

Из Сан-Франциско на «Царице» прибыла назначенная императором комиссия (в составе действительного статского советника С.А.Костливецца, крупного чиновника Министерства финансов, и адъютанта инспекторского департамента Морского министерства капитан-лейтенанта П.Н.Головина), которой было поручено проверить деятельность РАК [16. С.4]. Члены этой комиссии проделали путь из Санкт-Петербурга через всю Европу в Англию, пересекли Атлантический океан, далее из Нью-Йорка вдоль восточного берега США морем прошли к Панамскому перешейку, на его тихоокеанском побережье вновь сели на американский пароход и на нем прибыли в Сан-Франциско 12 октября 1860 г.

Головин, как профессиональный военный моряк, по роду своей службы инспектировавший многие корабли, обратил внимание на ужасное состояние американских судов, на которых пришлось плыть, и их команд, о чем написал в своих путевых заметках. Поэтому, вступив на борт «Царицы» 29 октября 1860 г., он был приятно удивлен чистотой на корабле [17. С.151—163, 175].

Отплытие клипера несколько задержалось, так как высокой комиссией было решено подождать последней почты из России, в которой могли быть важные указания как для ее членов, так и для главного правителя колоний. После получения почты, прибывшей на американском пароходе, «Царица» только 3 ноября вышла в море.

Головин пишет, что благодаря Риделю клипер, на котором он отправился из Сан-Франциско в Ново-Архангельск, безукоризненно прошел весь путь, несмотря на постоянную плохую погоду и даже несколько серьезных штормов. По мнению Головина, Ридель был наиболее компетентным капитаном РАК, а его судно в отношении опрятности и порядка могло служить примером даже для большей части российских военных ко-

раблей [13. С.65]. «Царица» была лучшим судном РАК, и то, что она была доверена именно Риделю, также говорит о его высоком авторитете у руководства компании.

Однако по прибытии в Ново-Архангельск Ридель переводит сына на корабль «Николай I» к своему земляку шкиперу Л.Т.Крогиусу, сдает «Царицу» А.Г.Юзелиусу и ближайшим рейсом на барке «Нахимов» 24 декабря 1860 г. пассажиром отбывает в Сан-Франциско [16. С.50]. Неожиданно для всех Ридель принимает решение вернуться в Финляндию. Причина такого поступка неизвестна, остается только предполагать, что это было связано с получением последней почты. Во всяком случае, как следует из финских архивных документов, Ридель был здоров и благополучно отправился на родину. Но по пути к дому, 2 мая 1861 г., в Стокгольме, в возрасте 47 лет, он внезапно умер от холеры*.

Так закончилась история легендарной службы вольного шкипера Августа Вильгельма Риделя в качестве капитана кругосветных кораблей Российско-американской компании. ■

* Из сведений, полученных от Марии Ярлсдоттер Энкель.

Литература

1. История Русской Америки. М., 1999. Т.3.
2. Отчет Российско-американской компании Главного правления за 1 год по 1 января 1846 г. СПб., 1846.
3. Гринёв А.В. Кто есть кто в истории Русской Америки. М., 2009.
4. Отчет Российско-американской компании Главного правления за 1 год по 1 января 1848 г. СПб., 1848.
5. Отчет Российско-американской компании Главного правления за 1 год по 1 января 1849 г. СПб., 1849.
6. Алексеев А.И. Илья Гаврилович Вознесенский (1816—1871). М., 1977.
7. Отчет Российско-американской компании Главного правления за 1 год по 1 января 1850 г. СПб., 1850.
8. Отчет Российско-американской компании за 1851 г. СПб., 1852.
9. Отчет Российско-американской компании за 1852 г. СПб., 1853.
10. Отчет Российско-американской компании за 1853 г. СПб., 1854.
11. Отчет Российско-американской компании за 1854 и 1855 гг. СПб., 1856.
12. Отчет Российско-американской компании за 1856 г. СПб., 1857.
13. Головин П.Н. Обзор русских колоний в Северной Америке, составленный капитан-лейтенантом Павлом Николаевичем Головиным // Морской сборник. 1862. Т.LVII. №1.
14. Отчет Российско-американской компании за 1858 г. СПб., 1859.
15. Отчет Российско-американской компании за 1859 г. СПб., 1860.
16. Отчет Российско-американской компании за 1860 г. СПб., 1861.
17. Головин П.Н. Из путевых заметок П.Н.Головина (с предисловием В.Римского-Корсакова) // Морской сборник. 1863. Т.LXVI. №5.

Научные сообщения Глубоководная фауна кораллов — молодая или древняя?

Н.Б.Келлер, Н.С.Оськина,
кандидаты геолого-минералогических наук
Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН
Москва

История Мирового океана останется неполной, пока не будут определены время зарождения фауны океанических глубин и характер ее эволюции. А в этом исследователями не выработано единого мнения. Одни, исходя из долговременного постоянства условий на глубинах, рассматривают донную фауну как чрезвычайно древнюю и непрерывно существующую с докембрия [1]. Другие считают абиссальную (глубина более 3 тыс. м) фауну геологически молодой и быстро эволюционирующей [2]. Мы полагаем, что можно получить представления о возрасте той или иной глубоководной фауны, исходя из данных по истории формирования водной среды океанов.

Здесь мы расскажем о выработанном нами новом подходе к определению возраста современных глубоководных видов на примере склерактиниевых кораллов. Склерактинии — это группа высших шестилучевых коралловых полипов, главная особенность которых состоит в способности строить кальцитовый или арагонитовый скелет.

В основу исследования легла коллекция этих организмов, которая собиралась на протяжении нескольких десятков лет в ходе экспедиций на российских научно-исследовательских судах «Дмитрий Менделеев», «Витязь», «Обь», «Академик Мстислав Келдыш», «Академик

М.А.Лаврентьев», «Академик Сергей Вавилов», «Ихтиандр», «Профессор Штокман», «Академик Курчатов». Всего нами изучено около 200 видов с 385 станций в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах.

Когда речь заходит о склерактиниевых кораллах, обычно возникает представление о мощных рифовых постройках на мелководье (не глубже 50 м) в теплых, чистых, хорошо освещенных тропических водах. Однако в Мировом океане обитают разнообразные виды кораллов, живущие в большом диапазоне глубин (от нескольких десятков метров до более чем 6 км) и температур (от +20 до -1.1°C). На абиссали склерактинии представлены в основном одиночными организмами; колониальные формы встречаются значительно реже, не глубже 2—2.5 км, где многие из них нередко создают основу холодноводных коралловых банок. Однако по числу родов глубоководные одиночные и колониальные склерактинии не уступают рифостроящим.

Впервые склерактиниевые кораллы появляются в отложениях среднего триаса (приблизительно 240—230 млн лет назад), причем там обнаружены только рифостроящие формы. Склерактинии, не образующие рифов, встречаются лишь в среднеюрских отложениях (180—170 млн лет). К верхнему мелу (90—80 млн лет назад) эти кораллы прочно закрепились в части литорали, на шельфе

и в батимальной области. На границе мела и палеогена (приблизительно 65 млн лет назад) склерактинии облик уже соответствовали современным глубоководным видам (их насчитывается около 1000). Мощное развитие таких древних кораллов падает на конец третичного периода.

О времени появления большинства наиболее распространенных в океане родов склерактиний имеются точные сведения. Оценки возраста, основанные на работах американских ученых, варьируют от средней юры (180—170 млн лет назад) до плейстоцена (приблизительно 2 млн лет назад), хотя большая часть родов возникла в палеогене [3, 4]. Почти всегда в состав родов входят как холодноводные, так и тепловодные виды кораллов.

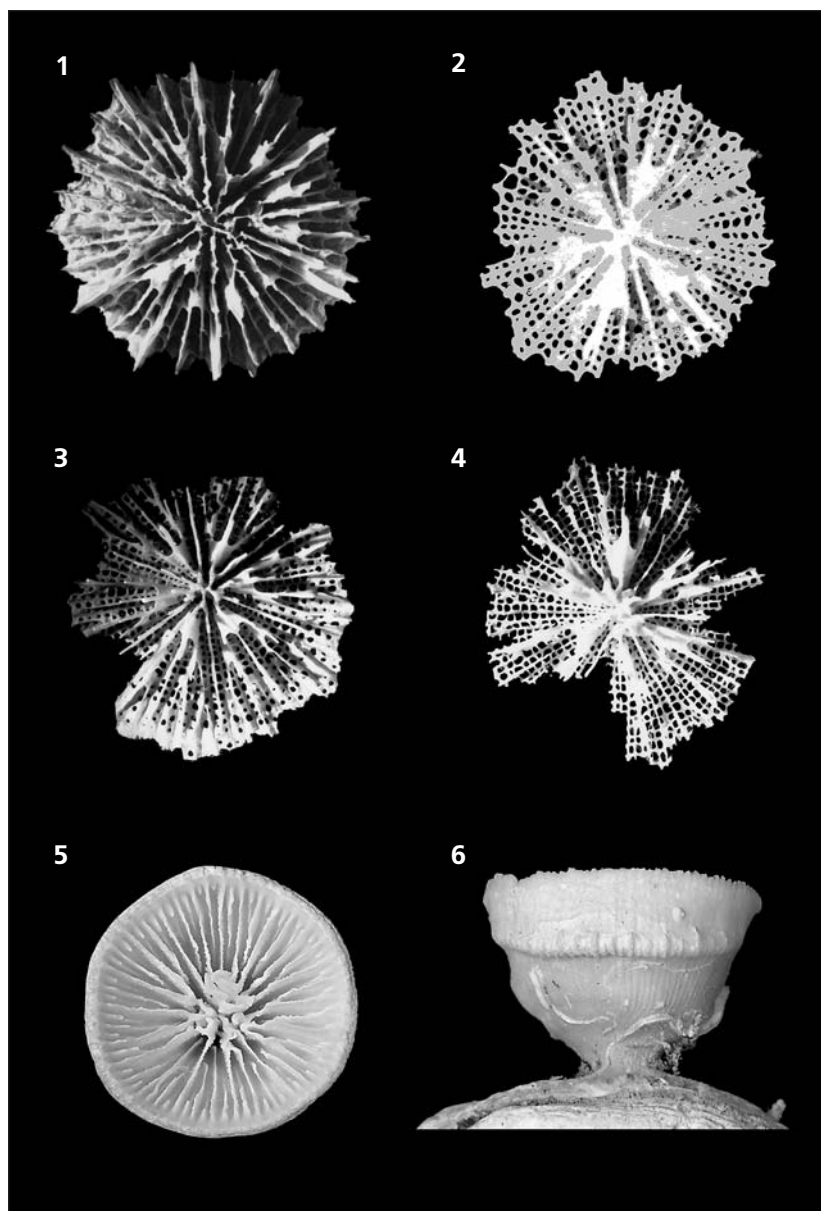
В отличие от родов, эволюционный возраст большей части современных видов остается неясным. Объясняется это тем, что палеонтологи имеют дело исключительно с мелководными беспозвоночными, которые обитают на глубинах значительно менее 1000 м. Надо иметь в виду, что древние одиночные полипы обнаруживаются преимущественно в тонкозернистых аргиллитах (т.е. в осадках, лежащих ненамного глубже, чем современные рифовые отложения). В континентальных же разрезах глубоководные отложения практически не встречаются. С течением времени в ре-

зультате тектонических движений часть мелководных отложений поднялась вверх и оказалась на суше, сформировав континентальные толщи. Это и позволило определить возраст некоторых видов. Упоминания о редких датированных находках из континентальных отложений содержатся в работах некоторых авторов [5–7].

Поскольку большая часть видов нерифовых кораллов обитает глубже шельфовой зоны (вплоть до абиссали) и не может быть встречена в континентальных разрезах, традиционный биостратиграфический метод определения возраста невозможен. Это вполне понятно, так как он основан на предположении, что виды, впервые обнаруженные в нижних горизонтах разрезов, древнее тех, которые впервые встречены в верхних слоях. По той же причине нельзя применить и метод определения абсолютного возраста видов, широко используемый геологами для континентальных толщ.

Метод палеоэкологического анализа

В 60-х годах прошлого века началось глубоководное бурение дна океана с использованием буровых судов. В этой международной программе участвовал и Советский Союз. На протяжении нескольких десятков лет было пробурено более 1000 скважин в разных регионах и на разных глубинах Мирового океана. Поскольку глубина скважин достигает сотен метров, ими вскрывается вся толща осадков до коренных пород. Большая часть глубоководных отложений содержит микрофауну, к которой относятся фораминиферы, кокколиты, диатомеи и радиолярии. К этим организмам можно применить биостратиграфический метод, что позволит установить их возраст, время появления и исчезновения, построить зональные страти-

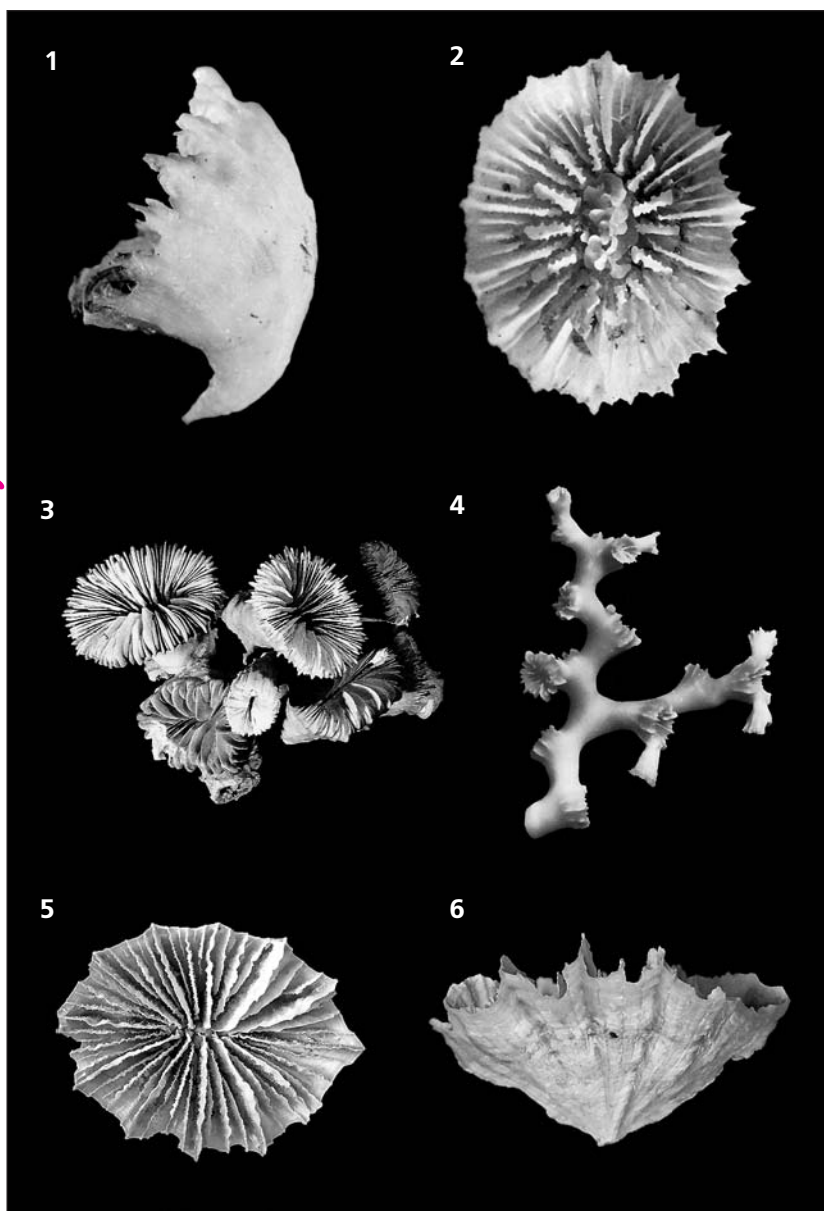


Холодноводные виды кораллов: 1 — *Fungiacyathus marenzelleri* (вид сверху); 2–4 — *Leptopenus discus*; 5, 6 — *Gardineria antarctica* (слева — вид сверху; справа — вид сбоку).

графические шкалы. Геомагнитный анализ этих же осадков даст их абсолютный возраст. К сожалению, эти методы неприменимы к таким крупным объектам, как кораллы, а тем более — к рассеянным по дну и не создающим, в отличие от микрофауны, сплошного покрова (к тому же в скважинах кораллы практически не встречаются). Вот почему мы имеем сведения о временной приуро-

ченности лишь менее 10% всей современной фауны коралловых полипов.

Нами сделана первая попытка подойти к проблеме не традиционными методами, а путем палеоэкологического анализа. Для этого мы использовали данные о температуре вод океана в геологическом прошлом и температурные диапазоны существования видов кораллов, впервые установленные нами [8].



Умеренно холодноводные виды кораллов: 1, 2 — *Caryophyllia ambrosia* (слева — вид сбоку; справа — вид сверху); 3 — *Desmophyllum dianthus*; 4 — *Madrepora oculata*; 5, 6 — *Flabellum japonicum* (слева — вид сверху; справа — вид сбоку).

Для каждого из видов склерактиний температурные диапазоны определялись на основе изучения имевшейся у нас коллекции кораллов. В пунктах, где были обнаружены коралловые полипы, температура воды на глубине их нахождения устанавливалась по гидрологическим данным [9]. Учитывались только виды, встреченные неоднократно. Это позволило построить для Атлантического, Индийско-

го и Тихого океанов таблицы температурных диапазонов. Оказалось, что каждый из видов мог существовать только в определенных температурных границах, причем их ширина варьирует: для одних характерны более узкие, для других — довольно широкие интервалы.

Ранее при изучении глубоководных кораллов учитывалась в основном глубина их обитания. Наши исследования показыва-

ли, что многие кораллы живут на разных глубинах, но при одной и той же температуре. Например, вид, который в высоких широтах обитает на шельфе и в верхней части континентального склона (на глубине 200–300 м) при температуре 4–6°C, в низких широтах опускается на глубину в несколько километров, где, однако, та же температура (4–6°C).

Из 200 видов склерактиний нашей коллекции удалось определить температурные границы обитания для 53. Мы объединили виды по мере убывания холодноводности в четыре условные группы. Их температурные диапазоны сравнивали с кривой, отражающей изменения температуры придонных вод океана на протяжении кайнозоя. Такая кривая была построена Дж.Захосом с соавторами [10] по изменениям изотопно-кислородного состава в раковинах фораминифер, обитающих на дне, а позже уточнена С.Д.Николаевым [11].

Температура придонных вод океана со временем менялась. Так, на границе мела и палеоцена (около 65 млн лет назад) она составляла 8°C, затем повысилась и во время климатического оптимума эоцена (50 млн лет назад) достигла 12°C. На границе эоцена и олигоцена (32 млн лет назад) она снизилась до 4°C. После этого — почти мгновенно по геологическим масштабам времени — последовал резкий скачок до 2°C и в течение большей части олигоцена температура была низкой (2–4°C). Только к концу этого времени (приблизительно 25 млн лет назад) она поднялась до 6–7°C и оставалась на таком уровне почти до середины миоцена (14 млн лет назад). Затем началось плавное снижение температуры глубинной воды, причем на границе миоцена и плиоцена (5 млн лет назад) она перешла нулевую точку, а в плейстоцене стала отрицательной.

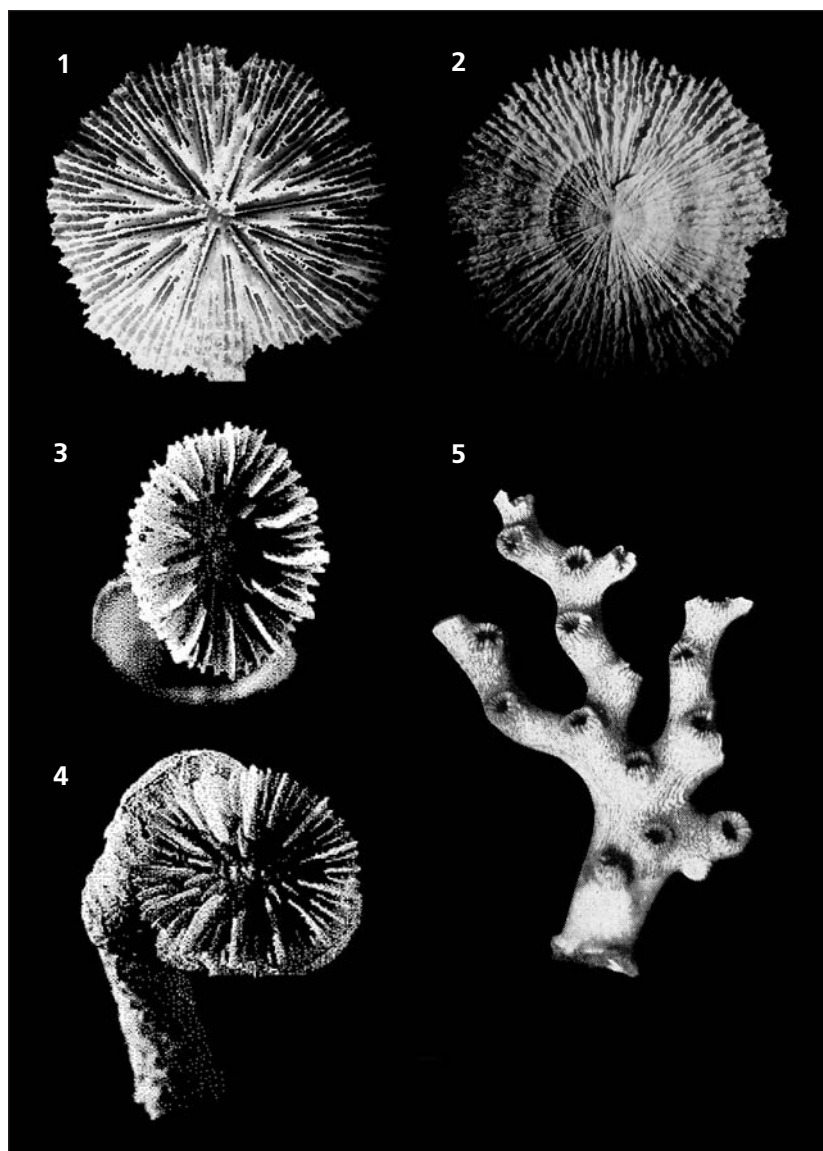
Приведенные данные относятся ко всему Мировому океану в целом. Следует заметить, что

в настоящее время температура придонных вод океана на глубинах ниже 4000 м почти одинакова от экватора до 60-х широт Северного и Южного полушарий [9]. Согласно имеющимся тектоническим данным, глубина океана практически не менялась с конца мезозоя. Можно предположить, что и в геологически далеком прошлом температура вод на больших глубинах была почти одинаковой на всех широтах, и, таким образом, построенная палеотемпературная кривая универсальна — ее можно использовать для оценки придонной воды практически во всех регионах.

В нашей предыдущей работе [8] мы установили температурные диапазоны видов, согласно которым ныне выделяем четыре их группы.

К первой группе отнесены холодноводные виды (от -1 до $+5^{\circ}\text{C}$), живущие в глубинных и придонных водах, а в высоких широтах — и в поверхностных. Эти виды не могли возникнуть ранее самого позднего эоцена или начала олигоцена, когда температура океанической толщи резко понизилась до $1-3^{\circ}\text{C}$. Литературных сведений о возрасте видов этой группы почти нет. В ее состав входит вид-космополит *Fungiacyathus marenzelleri*, который в настоящее время живет на глубине от нескольких сот метров до 6 км при температурах от -0.4 до $+3^{\circ}\text{C}$. Теоретически он мог появиться в начале олигоцена, но вряд ли пережил бы наступившее затем потепление до $6-7^{\circ}\text{C}$. Поэтому можно с большой долей вероятности считать, что этот вид возник лишь в плейстоцене (приблизительно 2 млн лет назад), когда температура воды вновь опустилась до низких значений.

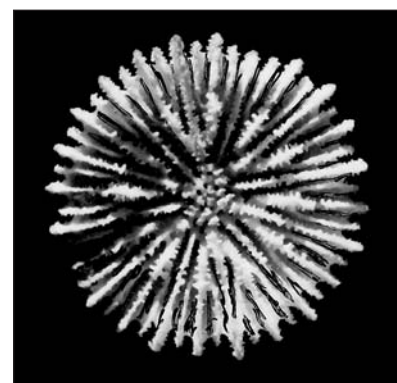
Во вторую группу включены умеренно холодноводные виды (от 5 до 10°C), обитающие практически во всей океанической толще. Они могли появиться в середине—конце эоцена. Для четырех видов этой группы в литературе имеются сведения



Тепловодные виды кораллов: 1, 2 — *Fungiacyathus paliferus* (слева — вид сверху; справа — вид снизу); 3, 4 — *Caryophyllia smithii*; 5 — *Enalopsammia rostrata*.

о возрасте. Он определен по находкам в терригенных отложениях и не противоречит установленному нами возрасту.

К третьей группе мы отнесли виды умеренных температур (от 10 до 15°C), населяющие меньшие глубины по сравнению с видами предыдущих групп, редко — и глубинные. Одни живут в широких температурных диапазонах, другие — в более узких. Первые, вероятно, появились в палеоцене или даже ранее, а вторые — позже, предположительно в конце олигоцена.



Умеренно тепловодный вид кораллов *Deltocyathus moseleyi*.

Они не могли появиться раньше, так как вряд ли пережили бы резкое похолодание в конце эоцена. Из всех видов только пять найдены в континентальных толщах, их возраст не противоречит нашим оценкам.

В четвертой группе мы объединили тепловодные виды (от 15°C и выше). Восемь из них переносят малый разброс температур и живут при их высоких значениях в мелководных условиях. Поэтому время их появления следует определять не по температуре, отражающей динамику на больших глубинах, а по изменениям палеотемпературы поверхности водной массы, которая оставалась высокой, до 20–25°C, в течение палеогена и неогена. Вероятно,

эти виды появились уже в палеогене, тем не менее часть из них может быть моложе, так как видообразование идет постоянно. Время возникновения семи видов, живущих в более широком диапазоне температур, весьма возможно, уходит к меловому периоду.

Проведенные нами исследования показали, что к наиболее древним относятся, по всей вероятности, тепловодные виды; некоторые из них могли появиться в течение эоцена и даже в палеогене (приблизительно 40–60 млн лет назад). Холодноводные же виды с узкими температурными границами эволюционно моложе и могли возникнуть не ранее начала олигоцена или даже в миоцене (прибли-

тельно 25–20 млн лет назад). Этот вывод подтверждает первоначальное предположение одного из авторов [12] об исключительной молодости глубоководной фауны.

Поскольку размах температурных изменений придонной воды достигал 10° (от 2 до 12°C), тезис о длительной неизменности условий существования организмов в глубинах океана [1] опровергается, свидетельствуя в пользу молодости глубоководной фауны. Если же наше предположение о плейстоценовом возрасте вида-космополита *Fungiacyathus marenzelleri* справедливо, значит, глубоководная фауна исключительно молода — ей всего несколько миллионов лет. ■

Литература

1. *Зенкевич Л.А.* К вопросу о древности океана и его фауны // История Мирового океана. М., 1971. С.77–83.
2. *Menzies R.J., Imbrie J., Heezen B.C.* Further consideration regarding the antiquity of the deep-sea bottom fauna with evidence for a changing abyssal environment // Deep-sea Res. 1961. V.8. №2. P.79–94.
3. *Vaughan T.W., Wells J.W.* Revision of the suborders, families and genera of the Scleractinia // Geol. Soc. Amer. 1943. V.44. P.1–363.
4. *Wells J.W.* Scleractinia // Treatise on invertebrate paleontology. Part F. N.Y., 1956. P.328–444.
5. *Wells J.W.* Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals. Part.10. Late Pleistocene ahermatypic corals from Vanuatu // Pacific Science. 1984. V.38. №3. P.205–219.
6. *Zibrowius H.* Les Scleractiniaires du Miocene au Pleistocene de Sicile et de Calabre de Guiseppe Sequenza (Cnidaria, Anthozoa) // Atti Academia Peloritana dei Pericolanti Classe 1 di Scienze Fis. Mat. e Nat. 1991. V.LXVII. №1. P.135.
7. *Cairns S.D.* Cnidaria, Anthozoa: Deep-water azooxanthellate scleractinia from Vanuatu, and Wallis and Futuna Islands // Resultats des Camp. Musorstom. Mem. Mus. Nat. Histoire Naturelle. 1999. V.20. P.31–167.
8. *Келлер Н.Б., Оськина Н.С.* Температурные диапазоны беззооксантеллятных склерактиниевых кораллов Мирового океана // Океанология. 2008. Т.48. №1. С.83–90.
9. *Степанов В.Н.* Океаносфера. М., 1983.
10. *Zachos J., Pagani M., Sloan L. et al.* Trends, rhythms and aberrations in global climate 65 Ma to present // Science. 2001. V.292. P.686–693.
11. *Келлер Н.Б., Оськина Н.С., Николаев С.В.* Новый подход к определению возраста глубоководных видов склерактиний на основании температурных диапазонов их обитания // Доклады РАН. 2009. Т.425. №2. С.218–222.
12. *Келлер Н.Б., Пастернак Ф.А.* О географическом распределении и возрасте фауны батинальных склерактиний, горгонарий и морских перьев (Anthozoa: Scleractinia, Gorgonacea, Pennatulacea) // ДАН. 2000. Т.373. №3. С.400–403.

ПРИРОДА

популярный
естественно-исторический журнал

№ 10

ГОД ИЗДАНИЯ ДВАДЦАТЫЙ

1931

По поводу 350-летия русской химии (1581—1931)

В 1581 г. застава у Москвы пропустила двух пассажиров, «аглицкий» костюм которых не оставлял сомнения ни в их знатном сане, ни в их иностранном происхождении. То были: придворный врач английской королевы Елизаветы Р.Якоби (R.Jakobi) и аптекарь James Frencham, присланные в Московию по просьбе Ивана Грозного. Аптекарь Френчем привез с собой некоторые химические медикаменты и в том же году открыл первую в России аптеку. Это послужило началом возникновения химии в России, ибо, как и в целом ряде других стран, аптека явилась не только медицинским учреждением, но и первым эмбрионом химического предприятия. Так, миновав заблуждения алхимии, русская химия сразу вступила в более зрелый период иатрохимии (врачебной химии), прикладное значение которой ограничивалось первоначально только приготовлением химических препаратов лекарственного значения*.

В 1672 г. открылась вторая, а в 1682 и третья аптека в Москве. В 1701 г. было приказано «для всяких надобных и потребных лекарств быть в Москве вновь осьми аптекам».

Однако гораздо большее значение для развития химии в России, чем аптеки, имело основание

* Несмотря на это, в России все же существовало официальное звание «алхимиста» и «алхимических дел ученика», но носители этого звания проводили свое время не в поисках «философского камня», а над приготовлением химических препаратов в аптекарской лаборатории.

Академии наук в 1724 г. С этого времени химия выходит из узких рамок аптекарской кухни на широкую дорогу научных исследований. Долгое время, правда, и здесь преуспевают деятели медицины, но сама химия все больше и больше теряет свое первоначальное врачебное значение.

Первым академическим химиком и вместе с тем первым профессором химии в России был медик М.Бюргер (1725—1726). В 1727 г. его сменил Иоанн Георг Гмелин, более известный как путешественник и исследователь Сибири. В 1745 г. Гмелин передает свое место в Академии Михаилу Васильевичу Ломоносову — первому русскому крупному ученому.

С именем Ломоносова (1711—1765) связано зарождение современной научной химии в России. Он первый у нас правильно понял ряд химических явлений (горение, природа атомов) и в 1748 г. — на 40 лет раньше Лавуазье — высказал принцип сохранения материи, легший в основу всего современного естествознания. Ломоносову же принадлежит и честь открытия при Академии наук первой в России химической лаборатории, построенной по его же плану в 1748 г.

Из химиков, следовавших непосредственно за Ломоносовым, следует упомянуть Эрика Лаксмана (1738—1796) и Товия Ловица (1757—1804). Первый описал ряд минералов, применил глауберову соль для выплавки стекла и прославился своими неоднократными путешествиями по Сибири (в 1796 г. он умер под Тобольском от паралича

сердца). Академик Ловиц представлял собой высокоодаренного химика. В 1785 г. он подметил явления адсорбции на угле, в 1794 г. — явления пересыщения и переохлаждения соляных растворов; в 1789 г. он открывает твердую уксусную кислоту, а в 1796 г. он впервые готовит безводный спирт и безводный этиловый эфир; в 1797 г. — на 100 лет раньше Эмиля Фишера — Ловиц предпринимает смелую попытку получения синтетического сахара.

Из преемников Ловица по кафедре химии Академии наук упомянем троих: К.Кирхгофа, А.И.Шерера и Г.И.Гесса.

Константин Кирхгоф (1764—1833) начал свою карьеру скромным фармацевтом при главной С.-Петербургской аптеке, во главе которой стоял Товий Ловиц. В 1811 г. он открывает реакцию превращения крахмала в сахар, послужившую исходной точкой для возникновения целой отрасли промышленности. За свое открытие Кирхгоф получил премию в 5000 рублей. В 1812 г. Кирхгоф получает звание академика.

Александр Шерер (1771—1824) совмещал кипучую педагогическую деятельность с большой литературной работой. Он был профессором химии последовательно в Галле (Германия), Дерпте и в Петербурге. В 1815 г. его избирают академиком. Ему принадлежит попытка издания первого специального химического журнала в России, выходявшего на немецком языке под названием «Nordische Annalen der Chemie». Шерер у нас один из первых проводников идей Лавуазье, коренным образом преобразивших химическую науку.

Герман Иванович Гесс (1802—1850) был по образованию медиком, однако вся его ученая деятельность была посвящена почти исключительно химии. 24-летним юношей он отправляется в Стокгольм изучать химию у Якова Берцелиуса. Двумя годами позже он принимает деятельное участие в создании Технологического института в Петербурге, где вскоре занимает кафедру химии. В 1834 г. Гесс получает звание академика. Исторической заслугой Гесса является основание научной термохимии, где с его именем связаны законы о теплотах образования химических соединений.

С распространением высшего образования в России центр развития химической науки переносится из Академии наук в университетские лаборатории. Почти одновременно открываются в начале XIX в. университеты в Дерпте-Юрьеве (1802), Харькове (1803) и Казани (1805). Значительно раньше (1755) был основан Московский университет, но химия там долгое время не особенно процветала. Зато в Казани воспиталась целая плеяда блестящих химиков: Н.Н.Зинин (1812—1880), Н.Н.Бекетов (1827—1911), А.М.Бутлеров (1828—1886), В.В.Марковников (1837—1904), А.М.Зайцев (1841—1910), Е.Е.Вагнер

(1849—1903), И.И.Канонников (1854—1902) и многие другие.

Основанный в 1819 г. Петербургский университет дал такие имена, как П.А.Ильенков (1821—1877), Н.Н.Соколов (1826—1877), Н.А.Меншуткин (1842—1907), Г.Г.Густавсон (1843—1908) и Н.Н.Любавин (1845—1918).

Из подвизавшихся в XIX в. крупных русских химиков надо назвать еще Ю.Ф.Фрише (1808—1871), А.А.Воскресенского (1809—1880), Л.Н.Шишкова (1830—1909), А.П.Бородин (1833—1887), Д.И.Менделеева (1834—1907), Ф.Ф.Бейльштейна (1838—1906) и Ф.М.Флавицкого (1848—1917).

Многие из них приобрели своими работами мировую известность. Про Николая Николаевича Зинина выдающийся немецкий химик Август Вильгельм Гофман писал в берлинских «Berichte»: «Если бы Зинин не сделал ничего более, кроме превращения нитробензола в анилин, то и тогда его имя осталось бы записанным золотыми буквами в истории химии». Классический справочник Бейльштейна по органической химии вот уже полвека безраздельно господствует в лабораториях всего мира. А двое из упомянутых химиков — Бутлеров и Менделеев — выросли до первоклассных звезд.

Александр Михайлович Бутлеров, ученик Зинина и Клауса*, по рекомендации последнего был оставлен для преподавательской деятельности при Казанском университете. В 1857 г., имея уже звание профессора, Бутлеров отправляется за границу, где работает у крупнейших химиков своего времени: Митчерлиха, Фрезениуса, Кекуле, Вюрца, Либиха. В 1874 г. он избирается ординарным академиком. С именем Бутлерова связано много ценных исследований в области органической химии. В 1863 г. он синтезирует третичный бутиловый спирт; в 1867 г. он получает изобутан; ему же принадлежит и первый синтез сахаристого вещества (формозы), осуществленный им в 1861 г.; одновременно с Кекуле Бутлеров разрабатывает основы структурной химии и впервые вводит у нас понятие о химическом строении вещества. А.М. развил и большую педагогическую работу, создав целую «Бутлеровскую школу химиков»; его учениками были: А.М.Зайцев, В.В.Марковников, И.Л.Кондаков, А.Е.Фаворский, В.Е.Тищенко и др.

Дмитрий Иванович Менделеев, окончив Педагогический институт в Петербурге, начинает совершенствоваться в химии, и в 1864 г., едва достигнув 30 лет, избирается профессором химии Петербургского технологического института. Его

* Карл Карлович Клаус, начавший свою карьеру учеником в одной из петербургских аптек, занял в 1837 г. кафедру химии в Казанском университете. Начав в 1840 г. исследование платиновых руд, Клаус открыл (1844) новый элемент, названный им в честь России рутением.

оригинальные исследования в области физической химии (гидратная теория растворов, упругость газов) сразу сделали его известным в научных кругах. Но мировую славу доставил Менделееву открытый им закон периодичности химических элементов (1869). На основании Периодической системы он предсказал (1870 г.) существование и описал свойства трех неизвестных еще тогда элементов: галлия, скандия и германия, которые и были вскоре открыты. Менделеевская таблица по сей день служит нагляднейшим пособием в деле изучения и усвоения основных начал неорганической химии. Несмотря на свои заслуги, Менделеев, в силу направленных против него интриг, не был избран в Академию наук*, хотя кандидатуру его энергично поддерживал А.М.Бутлеров; это, однако, не помешало ему быть членом почти всех европейских академий. Благодаря инициативе и энергии Менделеева возникло в 1868 г. Русское физико-химическое общество.

Первая попытка создать химическую периодику, связана, как мы видели, с именем академика Шерера. До появления самостоятельной химической прессы статьи по химии появлялись большей частью в издававшемся Академией наук в 1804—1826 гг. «Технологическом журнале». В 1859 г. Н.Н.Соколов и А.Н.Энгельгардт приступили к изданию «Русского химического журнала», про-

существовавшего два года. Это был действительно первый химический журнал на русском языке. В 1869 г. Физико-химическое общество начало издавать свой журнал. На его страницах появились лучшие работы русских химиков. Вплоть до революции это был почти единственный химический орган в России. Только после революции химическая печать начала у нас значительно развиваться. В настоящее время в одной только РСФСР издается около двадцати химических журналов («Журнал общей химии», «Журнал технической химии», «Журнал химической промышленности», «Журнал физической химии», «Химия и социалистическое хозяйство» и т.д.).

Сеть химического образования (от школ ФЗУ до втузов) необычайно разрослась, охватив собой весь Союз.

Менделеевские съезды, начало которым было положено в 1907 г., превратились в грандиозные слеты химиков СССР. 350-летний юбилей русской химии совпадает как раз с кануном VI Менделеевского съезда**, созываемого в период стройки новых химических промышленных гигантов (Березняки, Кузбасс, Бобрики).

М.Г.Герчиков

* См. Вестник Академии наук СССР. 1931. №3.

** Менделеевские съезды происходили в следующем порядке: I — Петербург, 1907 г.; II — Петербург, 1911 г.; III — Петроград, 1922г.; IV — Москва, 1925 г. и V — Казань, 1928 г.

Новости науки

Астрономия

Массивные черные дыры часто встречались в ранней Вселенной

Роль черных дыр в формировании галактик в раннюю эпоху развития Вселенной широко обсуждается космологами, но до сих пор наблюдательные данные для проверки соответствующих гипотез практически отсутствовали. Возможности оптических наблюдений ограничивались облаками пыли, непроницаемыми для видимого света, а разрешающая способность радиоастрономии недостаточна для обнаружения подобных объектов.

Ситуация изменилась с запуском орбитальной рентгеновской обсерватории «Chandra», способной наблюдать очень далекие источники сквозь облака пыли и газа. Рентгеновское излучение испускается веществом, падающим на черные дыры в ядрах молодых формирующихся галактик. Сопоставление этих данных с инфракрасными изображениями тех же объектов, полученными орбитальным телескопом «Хаббл», позволило астрономам вести поиск черных дыр в 200 далеких галактиках, расстояние до которых соответствует ранней (800–950 млн лет) эпохе расширения Вселенной (сегодня ей 13,6 млн лет). Оказалось, что эти черные дыры очень быстро растут, поглощая падающее на них вещество. Данный процесс качественно подобен тому, что порождает свечение квазаров — сверхмассивных черных дыр, расположенных в ядрах активных галактик. Однако эти недавно обнаруженные источники рентгеновского излучения в сотни раз слабее, а массы их черных

дыр в тысячи раз меньше, чем у квазаров.

Было найдено, что высокая доля (возможно, до 100%) далеких галактик содержит сверхмассивные растущие черные дыры. Если экстраполировать эти результаты с небольшого поля, в котором проводились наблюдения, на всю небесную сферу, то получится, что в ранней Вселенной имелось по меньшей мере 30 млн сверхмассивных черных дыр — в 10 тыс. раз больше гипотетического числа квазаров.

Существование некоторого числа молодых черных дыр в ранней Вселенной предполагалось, но до сих пор не фиксировалось. Подробные вычисления показывают, что суммарная скорость роста массы черных дыр, выведенная из этих наблюдений, в сто раз больше прежних оценок. И хотя одновременный рост черных дыр и содержащих их галактик был выявлен для более близких объектов, новые данные обсерватории «Chandra» показывают, что эта связь возникла раньше, чем до сих пор предполагалось, возможно, с самого начала возникновения и тех и других.

Nature. 2011. V.474. №7351. P.356–358 (Великобритания).

Физика

Границы устойчивости графена при деформации в плоскости

В последнее время ведутся интенсивные исследования влияния упругой деформации на механические и физические свойства графена, однако до сих пор не определены границы структурной устойчивости плоского листа этого материала при его деформации в

плоскости. Недавно эта задача была решена путем атомистического моделирования¹. В трехмерном пространстве компонент тензора плоской деформации (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , ϵ_{xy}) построена поверхность, ограничивающая область устойчивости плоского листа графена без учета тепловых колебаний и влияния граничных условий. В точках данной поверхности рассчитаны величины компонент усилий T_x , T_y , T_{xy} . Показано, что графен структурно устойчив вплоть до деформаций порядка 0.3–0.4, но неустойчив по отношению к деформации сдвига в отсутствие растягивающих усилий. Кроме того, он не может сохранять плоскую форму при наличии сжимающих усилий, поскольку его изгибная жесткость равна нулю.

<http://perst.issp.ras.ru>
(2009. Т.18. Вып.11/12).

Химия

Композит с графеновой пеной

В последние годы неоднократно предпринимались попытки введения квазидвумерных слоев графена в макроскопические трехмерные структуры. Однако качество таких образцов оставляло желать лучшего, в первую очередь из-за сильной дефектности самих листов и большого электросопротивления межслоевых контактов. Китайские специалисты предложили новую стратегию синтеза графеновых макроструктур: она позволяет изготавливать образцы с пенообразной морфологией — графеновую пену².

¹ Дмитриев С.В. и др. // Письма в ЖЭТФ. 2011. Т.93. С.632.

² Chen Z. et al. // Nature Mater. 2011. V.10. P.424.

Технология такова. Путем разложения метана при 1000°C получали графеновые пленки и осаждали их на внутренние поверхности пористого никелевого шаблона, а затем покрывали тонким слоем полиметилметакрилата. Потом стравливали никель в растворе HCl или FeCl₃ (полиметилметакрилат нужен, чтобы препятствовать коллапсу трехмерной графеновой сетки в процессе стравливания). После удаления полиметилметакрилата ацетоном оставалась пластинка пенографена толщиной 0.1–0.6 мм и поперечным размером ~10 см.

Просвечивающая электронная микроскопия показала, что стенки графенового каркаса неоднородны по толщине и образованы в среднем тремя слоями графена. При инфильтрации графеновой пены полидиметилсилоксаном (ПДМС) получается гибкий композит графен/ПДМС, проводимость которого при содержании графена всего 0.5% составляет ~10 С/см. Это на шесть порядков выше, чем в композициях ПДМС/графен, получавшихся ранее другими методами.

Проводимость графен/ПДМС максимальна при пяти слоях графена — она почти такая же, как у чистого (без полимерного наполнителя) пенографена. Вместо ПДМС с тем же успехом можно использовать и другие полимеры (например, эпоксидную смолу). Помимо отличной проводимости композиты характеризуются высокой механической прочностью. Они могут найти применение в самых различных областях — от биомедицины до суперконденсаторов и литий-ионных батарей.

<http://perst.issp.ras.ru>
(2009. Т.18. Вып.11/12).

Химия

Золотые клетки

Как это ни удивительно, но создание настоящих золотых клеток начинается с наночастиц серебра. И никаких намеков на алхимию. Избирательное осаждение золота на серебряные десятигранники

(декаэдры) с последующим их вытравливанием позволило канадским специалистам получить прекрасные образцы золотых нанокаркасов¹. Исследователи наносили золото точно на ребра и вершины декаэдров, жестко контролируя условия процесса, а именно количество осаждаемого материала, скорость осаждения, концентрацию восстановителя и т.д. На следующем этапе серебряные шаблоны удаляли, растворяя их в перекиси водорода, и на выходе оставались лишь золотые наноклетки с толщиной «прутьев» до 1.6 нм. Структура получаемых образцов напрямую зависела от соотношения осажденного золота и серебряного шаблона. Кроме декаэдров в качестве шаблонов для получения золотых наноклеток использовали также серебряные бруски пятиугольного сечения и икосаэдры. Другие формы (например, кубы или бипирамиды) не позволили добиться желаемых результатов.

Исследователи надеются, что их методика окажется полезной для получения ультратонких металлических проволок, а также наноструктур благородных металлов для использования в катализе.

<http://perst.issp.ras.ru>
(2009. Т.18. Вып.11/12).

Зоология

Удивительная пизаура

Паук пизаура удивительная (*Pisaura mirabilis*) был описан на заре становления зоологической номенклатуры (первоначально как *Araneus mirabilis*). По прошествии еще без малого 130 лет выяснилось, что эта пизаура не зря получила свое имя! Воистину удивителен «свадебный подарок» самца пизауры самке, впервые описанный бельгийским исследователем М.ван Хассельтом² в 1884 г. С тех пор вышло немало работ, посвя-

щенных ритуалу ухаживания у пизауры, в том числе и добротное исследование российского арахнолога С.А.Спасского³.

Поедание самкой самца-партнера после спаривания, во время этого акта и даже перед ним — явление у пауков достаточно обычное. В этом даже есть определенный биологический смысл, так как большинство самцов мало пригодно для следующего спаривания, а самке при созревании яиц надо хорошо питаться. Самец для нее — просто еда! Тем не менее, чтобы сохранить себе жизнь, самцы разных видов пауков идут на всяческие уловки: могут подавать специальные вибрационные, звуковые и оптические сигналы, чтобы спариться с только что перелинявшими, еще вялыми самками; повесить самку вниз головой на не очень удобной для нее паутинной нити и многое-многое другое. Но вершина эволюции такого рода поведения — конечно же, свадебные подарки пизаур и некоторых других пауков! Поймав муху или другое насекомое, самец приближается к самке, та вцепляется в презент, и тогда самец приступает к спариванию и остается цел.

Но большинство прежних наблюдений проведено в лабораторных условиях, которые не всегда соответствуют природным. Пизауры живут в гуще травостоя, а в лаборатории их сажали в контейнеры с плоским полом, где они были лишены возможности карабкаться по вертикальным поверхностям. Наиболее «биологичен» подход немецкого арахнолога Р.О.М.Ницше (Университет Кайзерлойтерна), который вот уже более 20 лет изучает биологию *Pisaura mirabilis*; недавно вышла его обзорная статья с многочисленными фотографиями⁴.

Ницше разработал оригинальный контейнер для содержания

¹ McEachran M. et al. // J. Am. Chem. Soc. 2011. V.133. P8066.

² Van Hasselt A.M.W. Waarnemingen omtrent anomalien van de geslachtsdrift bij spinnen-mares // Tijdschrift voor Entomologie. 1884. Bd.27. S.197, 200—204.

³ Спасский С.А. *Pisaura listeri*. Биологический очерк // Энтомологическое обозрение. 1935. Т.25. Вып.3—4. С.193—205.

⁴ Nitzsche R.O.M. Courtship, mating and agonistic behaviour in *Pisaura mirabilis* (Clerck, 1757) // Bulletin of the British Arachnological Society. 2011. V.14. Part 4. P93—120.

пизаур в почти природных условиях. В нем небольшие вертикальные и наклонные дощечки заменяли травинки и веточки кустарников. Наблюдения арахнолог проводил также и в террариуме с традесканциями. В этих условиях выяснилось много интересного.

Завернутый в паутину гостинец бывает шариком диаметром в несколько миллиметров, а то и ножками сверчков длиной 8 мм. Самец пизауры приходит в возбуждение даже при контакте с тем местом, где самка была недавно, причем это происходит не только днем, когда пизауры преимущественно активны, но и ночью. Кавалер может предлагать подарок неоднократно, а дама иногда просто убегает или проявляет агрессию, отбиваясь от подношения передними ногами. Но, так или иначе, без него спаривание не происходит.

У самцов всех пауков половые и копулятивные органы расположены в разных местах тела: половое отверстие — на втором сегменте брюшка, а палец для спаривания — на видоизмененной вершине пальпы, второй пары конечностей. «Заправить» пальпус семенной жидкостью паук напрямую не может, слишком велика дистанция до низа брюшка. Делается это с помощью особой паутинной сети (сперматической сеточки), на которую самец выдавливает капельку семени, а потом, немного сдвигая тело, закачивает ее в палец. Ницше выяснил, что самец пизауры заправляет пальпусы до начала поисков самки и изготовления свадебного сувенира. Оpoznает ее только по запаху. Возбужденный самец, приближаясь к самке с гостинцем, который держит хелицерами, а не ногами, «потирает» ногами о субстрат, дрожит пальпами, дергает телом. Возможно, эти действия видоспецифичны и направлены на снижение агрессивности самки. А она не проявляет особого возбуждения, лишь иногда слегка подрагивает брюшком. В среднем через 40 с после опознания самца она кусает подарок и немедленно на-

чинает его поедать. Партнер, продолжая частично удерживать презент, перемещается к брюшку самки и спаривается. Сначала он опорожняет одну педипальпу, потом вторую, перед этим перехватив подарок другой хелицерой; возможны и дополнительные копуляции.

После окончания копуляции между партнерами начинается борьба за сувенир. Как правило, они отрываются от «листьев» или других вертикальных конструкций и падают на «землю», где, наконец, расцепляются. Обычно побеждает самка и сразу становится агрессивнее — кусает самца за ноги и даже за тело. Иногда он погибает. В тех редких случаях, когда подарком овладевает самец, он строит вторую сперматическую сеточку, заправляет свои пальпусы и, слегка закусив отобранным подношением, снова ищет самку.

Если кавалер предлагает даме незавернутую муху-гостинец, спаривание проходит труднее: мушиное крыло может закрыть копуляторные отверстия на ее брюшке. Зато в борьбе за подарок «побеждает дружба»: партнеры разрывают муху на две части и поэтому чаще расходятся мирно. Слишком мелкому подношению (например, дрозофиле) самка не рада и кусает самца за ноги или свободную пальпу. Раненый самец все же заканчивает спаривание и остается жив, даже бьется с обидчицей за микроподарок. Несвоевременный презент самка, которая уже чем-то питается, откладывает на потом, когда закончит трапезу. Девственные самки гораздо менее агрессивны, чем те, которые уже спаривались. Биологический смысл этого очевиден: дополнительные спаривания необходимы самкам далеко не всегда, а дополнительная пища — очень кстати.

Два самца, оказавшись перед одной самкой, чаще всего отбирают подарки друг у друга, а иногда даже пытаются спариться друг с другом. Изредка тот боец, что сильнее, убивает более старого и слабого и сворачивает из него

сувенир. Ницше наблюдал двух соперников, которые сплелись в клубок вместе с подарком и самкой. Один из них только кусал презент, а другой при этом еще и спаривался с самкой...

Еще со времен Спасского известно, что, если отобрать приготовленный подарок у самца в присутствии самки, тот может вернуть в паутину буквально все что угодно. В опытах Спасского кавалеру предлагали уже завернутые щепочки и камушки, и бедняга радостно хватал их и тащил избраннице. Ницше заметил, что самец сам способен подбирать и даже иногда упаковывать в паутину предлагаемые исследователем небольшие подсохшие цветки, из которых изготавливает совершенно бессмысленные для самки цветочные подарки. В нескольких случаях спаривание все-таки состоялось, и самки даже отобрали у самцов сувениры. Некоторые самки кратко спариваются и вовсе без подношений и даже приносят потомство.

Почему у самцов пизаур развивается столь оригинальное ухаживание? Пока трудно сформулировать какую-либо приемлемую гипотезу. Но Ницше отмечает, что стремление заворачивать и припасать добычу, привязывая ее к субстрату, свойственно и самкам пизаур, и молодым особям. Такое поведение уменьшает риск потери добычи. Кроме того, автор полагает, что заворачиванием дара в паутину облегчается доступ к половому отверстию самки (крылья, ножки пойманного насекомого не торчат во все стороны), уменьшается потеря влаги и тем самым усыхание подарка.

Известно лишь несколько десятков видов пауков (из 42 тыс. описанных), которые способны преподносить свадебные подарки, но детально исследовано поведение только пизауры удивительной. На очереди — другие пауки-«джентльмены». И один из них живет не в тропиках, а в нашей средней полосе. Это осенний паук кругопряд (*Metellina segmentata*). Удивительно, что биологии этого вида посвящены буквально считан-

ные публикации. Именно здесь я вижу огромное поле для работы отечественных арахнологов.

© **К.Г.Михайлов**,
кандидат биологических наук
Москва

Экология

Насекомые в экстремальных условиях

Парящие грунты термальных полей и отличающиеся по мощности, температурам и минеральному составу горячие источники на Камчатке создают разнообразные условия обитания для многих организмов.

Жизнь насекомых в экстремальной среде гидротерм Узон-Гейзерного р-на Камчатки на протяжении ряда лет изучает энтомолог Л.Е.Лобкова¹ (Кроноцкий заповедник). Здесь известны 106 видов насекомых-гидробионтов, обитающих при повышенной температуре и в химически более агрессивной среде, чем в обычных для этих видов местообитаниях. Выдающуюся устойчивость к температурам и минеральному составу воды проявляют личинки двукрылых (Diptera), живущие в термальных источниках и в их зонах подтопления. Личинки комаров-болотниц (Limoniidae, *Symplecta hibrida*) переносят температуры до 48°C, значительную минерализацию и крайне высокую кислотность воды (рН около 2). Личинки комаров-звонцов (Chironomidae), мух-береговушек (Ephydriidae) и мокрецов (Ceratopogonidae) обитают в столь же кислых водоемах при несколько меньшей температуре — до 38°C. Личинки мух-львинок (Stratiomyidae, *Odontomyia microleon*) устойчивы к очень

высоким температурам (до 65°C), но при почти нейтральной кислотности. Они способны не только обитать в гидротермах в толще альгобактериальных взвесей, но и благополучно переползать тонкие сливы кипятка и погибают, лишь попав в русла ручейков с температурой 80—90°C.

У личинок мух-журчалок (Sirphidae, *Eristalinus sepulchralis*) Лобкова совместно с коллегами из Института геологии СО РАН и Института вулканологии ДВО РАН выявила ряд морфологических, анатомических и физиологических адаптаций, позволяющих этим организмам жить в сероводородных источниках, где температура — 42°C, минерализация — 0.6 г/л и рН 1.5. Во-первых, тело личинок покрыто плотно расположенными короткими щетинками, на которые в водоемах оседает мелкодисперсная взвесь, создающая своеобразные «доспехи». Они изолируют организм не только от воздействия высоких температур, но и от химически агрессивных сред — даже в 70%-ном спирте личинки способны жить около 4 ч! Во-вторых, особенности дыхательной системы позволяют личинкам не только надолго погружаться в водоем для питания, но и изменять размеры и форму тела. В-третьих, неоднократные линьки избавляют личинок от накапливающихся микроэлементов (цинка, стронция, брома, кадмия и др.), содержание которых в покровах организмов во много раз превышает их концентрации в источниках. В-четвертых, личинки *E.sepulchralis* питаются обитающими в источниках микроорганизмами и полностью усваивают органическую составляющую пищи — их экскременты на 98% состоят из хорошо раскристаллизованной серы. Кроме того, обнаружены специфические микроорганизмы-симбионты, которые в дыхательной системе личинок выделяют слизь, защищающую воздуховодный канал от повреждений. Симбионты, обитающие в пищеварительной системе, не только способствуют перевариванию пи-

щи, но, вероятно, и определяют ее выбор личинкой.

Насекомые, обитающие в термальных водоемах, — интересные модели для изучения адаптаций организмов и возможных путей эволюции. Значение Кроноцкого заповедника для сохранения естественных экстремальных местообитаний и их биоты неопределимо.

© **Н.А.Булахова**,
кандидат биологических наук
Томск

Климатология

Усиление переноса тепла в Арктический бассейн водами Атлантического океана

Современное потепление климата происходит в Арктическом регионе существенно быстрее, чем в среднем по планете. Сокращение ледового покрова Северного Ледовитого океана рассматривается многими климатологами как важная положительная обратная связь, усиливающая глобальное потепление. Поэтому изменение адвекции тепла водами Северной Атлантики в арктический бассейн в историческое время (последние 2 тыс. лет) важно для понимания механизмов природной изменчивости климата и прогноза реакции климатической системы на антропогенные возмущения.

Для реконструкции температур поверхности моря и содержания CO₂ в атмосфере в течение этого периода международная группа исследователей под руководством Р.Шпильхагена (R.Spielhagen; Институт морских исследований им.Лейбница, Киль, Германия) изучала керны донных отложений на границе материкового шельфа к западу от Шпицбергена, в восточной части пролива Фрама. Выбор расположения скважины определялся тем, что именно здесь, у границы распространения морского льда, происходит погружение на глубину теплых соленых вод Северной Атлантики и формирование глубинных вод. В периоды холодного климата точка бурения в начале весны расположена

¹ Лобкова Л.Е. // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: М-лы IV науч. конф. Петропавловск-Камчатский, 2004. С.244—248; Лобкова Л.Е. и др. // Микробиология. 2007. Т.76. С.405—415; Лобкова Л.Е. // Состояние особо охраняемых природных территорий Дальнего Востока: М-лы науч.-практ. конф., посвященной 75-летию Лазовского заповедника. Владивосток, 2010. С.159—166.

под ледниковым покровом; в современную эпоху и в теплые периоды исторического времени этот район свободен ото льда. Поэтому формирование донных отложений в этом районе, как ожидали исследователи, должно было быть особенно чувствительным к климатическим изменениям.

Воды Северной Атлантики с температурами от 2 до 6°C и соленостью >35.0 в настоящее время находятся в восточной части пролива Фрама на глубинах от 50 до 600 м. Большую часть года они перекрыты сверху смешанным, опресненным слоем воды с температурами, меняющимися в зависимости от времени года, в особенно суровые зимы покрытым льдом. Все эти параметры также менялись за последние 2 тыс. лет, как показали наблюдения за распространением ледового покрова и изучение кернов донных осадков.

Высокая изменчивость притока атлантических вод в Арктический бассейн в позднечетвертичное время зафиксирована в геологической летописи такими косвенными показателями, как обилие разного рода микрофоссилий, скорость накопления донных отложений и соотношение арктических/субарктических видов в донных осадках. Наибольший приток атлантических вод происходил в основном в периоды относительно теплого климата (межледниковья и интерстадиалы). Голоцен (последние 12 тыс. лет) характеризуется температурным максимумом от 10 до 9 тыс. лет назад и последующим похолоданием. Однако прежние исследования не смогли четко выявить изменения на временных масштабах нескольких сотен лет или меньше. Такие изменения хорошо известны по историческим данным и косвенным показателям для климата Европы за последние 2 тыс. лет, которые подразделяются на теплый римский период (ТРП, до ~600 г.), холодное раннее Средневековье (ХРС, от ~600 до ~900 г.), средневековую климатическую аномалию (СКА, от ~900 до ~1500 г.), малый ледниковый пе-

риод (МЛП, от ~1500 до ~1900 г., и современную (промышленную) эпоху. Временные границы этих периодов могут меняться в зависимости от региона.

Реконструкции температурной изменчивости атлантических вод в проливе Фрама за последние 2 тыс. лет выполнялись авторами на основе изучения содержания планктонных фораминифер в кернах донных отложений с западной границы материкового шельфа Шпицбергена. Определение палеотемператур вод, поступавших из Атлантики в Северный Ледовитый океан, основывались на двух независимых методах: на сравнении видового разнообразия фораминифер для вычисления температур на глубине 50 м (по аналогии с современными данными о зависимости этого показателя от температуры) и на измерении соотношения Mg/Ca в раковинах планктонных фораминифер *Neogloboquadrina pachiderma* (sinistral).

Результаты, полученные обоими методами, позволили количественно оценить повышение температуры, связанное с усилением влияния атлантических вод к западу от Шпицбергена в современную эпоху. До ~1850 г. средняя летняя температура варьировала от 2.8 до 4.4°C, со средним многолетним значением 3.4°C, согласно измерениям состава сообществ, причем низкие значения соответствовали хорошо известным холодным периодам (начало ХРС, МЛП), а наиболее высокие — началу СКА, от 800 до 1100 г. Данные анализа керна хорошо соотносятся с реконструкциями палеотемператур по наземным источникам в Северном полушарии и изменчивостью температур в субарктической области. Температуры атлантических вод после 1890 г. составляли от 4.1 до 6.1°C (среднее \pm стандартное отклонение: $5.2 \pm 0.22^\circ\text{C}$) и тем самым были на ~2°C выше, чем в предыдущие 2 тыс. лет. Быстрое потепление до беспрецедентного максимума в 6°C, вычисленное из верхнего слоя керна, возможно, началось уже около

1850 г. Однако постепенный переход может быть артефактом перемешивания рожущими донными животными осадков, относящихся к МЛП и бедных фораминиферами, с осадками современной эпохи, богатыми фораминиферами. Температурные реконструкции, полученные измерением соотношения Mg/Ca, сходны с результатами анализа состава сообществ. Изменчивость за время, предшествующее современной эпохе, была высока (от 0.7 до 5.7°C), возможно, потому, что метод Mg/Ca не способен точно воспроизводить температуры ниже 3°C, но средняя температура 3.6°C ($\pm 0.3^\circ\text{C}$) подтверждает результаты, полученные измерением состава сообществ. Эта согласованность результатов обоих методов распространяется и на современную эпоху: температуры начиная с 1890 г., вычисленные методом Mg/Ca, варьируют от 4.4 до 7.1°C, со средним значением 5.8°C ($\pm 0.5^\circ\text{C}$). Для обоих методов средняя температура современной эпохи превышает все отдельные значения за предшествующие 2 тыс. лет. Эти результаты указывают на быстрое потепление на ~2°C верхнего слоя вод ветви Северо-Атлантического течения, проникающей в Северный Ледовитый океан через пролив Фрама, за последние 120 лет, что согласуется с документированным отступлением морского льда в Баренцевом море, данными о палеоклимате суши и измерениями температуры воздуха.

Реконструированное в исследовании потепление на ~2°C после МЛП совпадает с данными наблюдений о потеплении слоя атлантической воды в Северном Ледовитом океане за последние 120 лет.

Инструментальные измерения температуры воздуха и атлантических вод в Арктике в течение XX в., а также до и после него, показывают квазисинхронные мультидекадные колебания, затрудняющие выделение тренда индустриального потепления. Наблюдения по всему Арктическому бассейну начиная с 1980-х годов обнаружили продолжающиеся по

несколько лет события распространения атлантических вод в Северном Ледовитом океане, для которых характерны сильное потепление и усиленный приток этих вод в Арктику. Хотя из данных настоящей работы невозможно количественно оценить изменчивость объемов поступления атлантических вод в Арктику, временные ряды данных о температуре и приведенные выше наблюдения позволяют предположить, что современный приток теплых атлантических вод (осредненный по двум-трем десятилетиям) аномально высок и уникален для последних 2 тыс. лет. Оба эти эффекта — повышение температуры и рост расхода воды — приводят к усилению теплопереноса в Северный Ледовитый океан. Хотя атлантические воды в Арктике не контактируют с поверхностью океана, этот усиленный теплоперенос имеет далекоидущие последствия. Интенсивное потепление атлантических вод в Северном Ледовитом океане в 1990-х годах привело к подъему их основного слоя на меньшую глубину и усилению потока тепла к поверхности, что совпало по времени с уменьшением площади морского льда. Недавние океанографические наблюдения на границе материкового шельфа в море Лаптевых выявили проникновение атлантических вод на мелководный (<50 м) шельф — явление, не наблюдавшееся прежде в более чем 80-летних временных рядах. Эти данные указывают также на значительный поток тепла в перекрывающий слой шельфовых вод. Даже без каких-либо изменений процессов вертикального переноса тепла усилившийся температурный перепад между атлантическими водами и точкой замерзания поверхностной морской воды (возросший на 5–7 К, как было определено в данном исследовании) приводит к увеличению вертикального потока тепла примерно на 40%. Любой механизм положительной обратной связи усилит воздействие этого увеличения потока на ледовый покров. Учитывая

сильную обратную связь между ледовым покровом и температурой атмосферы, потепление слоя атлантических вод, беспрецедентное за последние 2 тыс. лет, скорее всего, служит еще одним шагом к переходу к свободному ото льда Северному Ледовитому океану.

Science. 2011. V.331. №6016. P.450–453 (США).

Климатология

Глобальные тренды скорости ветра и высоты волн

В исследованиях климата обычно рассматриваются предсказания температуры или ее измерения за продолжительные периоды времени. Климат, однако, включает гораздо больше. От изменения скорости ветра над океанами и вызванных им поверхностных гравитационных волн зависят потоки энергии из атмосферы и перемешивание верхнего слоя океана.

Австралийские исследователи под руководством И.Янга (I.Young; Технологический университет в Мельбурне) анализировали наблюдения скорости ветра над океаном и высоты волн, выполненные различными приборами, установленными на спутниках, в том числе альтиметрами, измерителями рассеяния и радарами с синтетической апертурой, в совокупности обеспечивающими глобальное покрытие. Самые длительные ряды данных получены методом радарной альтиметрии, начиная с 1985 г. Средняя квадратичная погрешность измерения существенной высоты волн составляет 0.2 м, скорости ветра — 1.5 м/с. Данные, собранные различными геофизическими спутниками, сравнивались друг с другом для систематической взаимной калибровки и сопоставимости. Была составлена база сопоставимых альтиметрических данных за 23 года, на основе которой исследователи попытались выяснить, происходили ли за это время систематические измене-

ния скорости ветра над океаном и высоты волн. В разных районах мира вычислялись среднемесячные значения и значения 90-го и 99-го перцентилей для квадратов площадью $2 \times 2^\circ$, причем сезонные изменения отделялись от долговременных трендов.

Тренд определялся как линейная функция времени. Для 90-го и 99-го перцентилей не удалось отделить сезонные изменения, и эти значения были исключены из дальнейшего анализа. Высота волн поэтому рассматривалась за период 1985–2008 гг., а скорость ветра — за 1991–2008 гг. Для каждого квадрата градусной сетки тренды выражались в виде прироста или убыли для каждого года в абсолютных величинах или в процентах от среднего значения.

Во всех трех группах статистических данных (ежемесячной средней, 90-го и 99-го перцентилей) видно явное глобальное увеличение скорости ветра. Картины изменений для средней величины и 90-го перцентилей сравнительно похожи, но для 99-го усиление ветра более выражено. Это означает, что интенсивность экстремальных событий растет быстрее, чем средние величины. Для ежемесячного среднего и 90-го перцентилей ежегодный прирост составлял от 0.25 до 0.5% (т.е. от 5 до 10% за 20 лет). В Южном полушарии зависимость более ярко выражена, чем в Северном. Единственным существенным исключением стала центральная часть Северной Пацифики, где лишь локально отмечаются приросты около 0.25% за год, а на некоторых участках корреляция даже обратная.

В обширных районах северных частей Атлантического и Тихого океанов и в большинстве экваториальных районов всех океанских бассейнов прослеживается слабый отрицательный тренд. Однако в Южном полушарии наблюдается устойчивый слабый положительный тренд около 0.25% за год, который, правда, почти везде статистически незначим.

Science. 2011. V.332. №6028. P.451–455 (США).

Рецензии **Заново открывая биологию**

М.В.Гопко

Институт озероведения РАН
Санкт-Петербург

Ричард Докинз — английский биолог, продолжатель славного направления эволюционистов (Ч.Дарвина, Р.Фишера, Дж.Мэйнарда Смита, Дж.Уильямса и У.Гамильтона) и оригинальный мыслитель, известный нестандартными и в то же время всегда рациональными подходами. Основными инструментами Докинза — мысленный эксперимент (вещь для биологов довольно необычная) и длинные безупречные логические ряды (штука непростая для кого угодно), восхищающие даже профессиональных философов. Восторженный отзыв одного из них — Дэниела Деннета (американского философа, директора Центра когнитивных исследований Университета Тафта) — приведен в послесловии к книге (с.446).

Докинз убежден, что ученый должен писать языком легким, красивым, простым, не чуждым эпитетов и метафор (с.106), и сам, замечу, пишет тонко и умно. Читая его научную статью и встречая пассаж бодрящий, а не усыпляющий, каждый раз мысленно благодаришь этого бескомпромиссного борца с навязчивыми канцеляризмами, профессионализмами и избытком сложносочиненных предложений. Возможно, поэтому возникло представление о Докинзе лишь как об авторе научно-популярной литературы. Чтобы исправить это хоть и естественное, но все же досадное недоразумение, предлагаю набрать «Richard Dawkins» в поисковой системе PubMed (базы данных Национальной медицинской библиотеки США) — появится целый список публикаций этого

автора в таких авторитетных научных журналах, как «Nature» и «Science».

Докинз «отметился» во многих областях теоретической биологии и не только (например, концепция «мима» заинтересовала психологов и социологов), но сам он считает трудом всей жизни именно «Расширенный фенотип». Я бы добавил еще и «Эгоистичный ген» — единственную до недавних пор биологическую работу Докинза, изданную на русском языке [1]. Обе книги вместе — что-то вроде диалогии, хотя сам автор их так не задумывал. По его замыслу, если я правильно понимаю, «Расширенный фенотип» — книга более фундаментальная, где разъясняется (добавлю — с терпением преподавателя спецшколы) то, что вызвало затруднения и недопонимание у читателей «Эгоистичного гена». Впрочем, если под рукой окажется только «Расширенный фенотип», то беритесь не страшась. Разобраться нетрудно, просто не воспринимайте это, как совсем уж легкое чтение.

«Эгоистичный ген» — произведение само по себе весьма незаурядное, и знакомство с ним важно для нашего читателя еще и тем, что там подробно и просто изложена теория репликатора (гена). Собственно, это и не теория вовсе, а констатация факта: в системах, которые принято называть биологическими, естественный отбор и конкуренция идут на генетическом уровне, а не каком-либо ином. Сейчас это общеизвестно, но книга-то была написана меньше четверти века после открытия структуры ДНК. Тогда даже биологам порой было нелегко сопоставить простые факты. Во-первых, из поко-



Р.Докинз. РАСШИРЕННЫЙ ФЕНОТИП: длинная рука гена.

М.: Астрель; CORPUS, 2010, 512 с.

ления в поколение передаются не особи, не популяции, не типы строения, а гены в виде цепочек ДНК. Во-вторых, геном — не что-то неделимое (он может меняться в результате кроссинговера, в любой участок генома могут встраиваться вирусы, которые порой покидают его, что-нибудь прихватив, и т.д.). В-третьих, гены не всегда работают согласованно друг с другом и организмом в целом (иллюстрации тому — мейотический драйв, паразитическая ДНК, аллели, летальные в гомозиготе, и т.д.). Сейчас такие рассуждения способен адекватно воспринять даже школьник, но тогда многое было внове. Сразу оговорюсь, мое изложение идеи «Эгоистичного гена» даже близко не отражает стиля Докинза, который в избытке приводит факты, поддерживая их ссылками на конкретные работы, и поистине удивительные эволюционные следствия, касающиеся брачного поведения животных, взаимодействия и соотношения полов, конфликта «отцов и детей» (в строго биологическом смысле).

Идеи Докинза активно обсуждаются в научном сообществе. Так, один из первооткрывателей структуры ДНК Ф.Крик писал: *«Теория естественного отбора в своей наиболее общей формулировке касается соперничества реплицирующихся существ. Это означает, что в ходе этого соперничества численность более эффективных репликаторов возрастает за счет численности их менее эффективных конкурентов. После того, как проходит достаточное количество времени, выживают только наиболее эффективные репликаторы»* [2]. Статья, кстати, была посвящена «эгоистичной ДНК» (не надо путать с «эгоистичным геном») — еще одной блестящей идее Докинза, ныне общепризнанной. Но не будем отвлекаться.

«Эгоистичный ген» вызвал бурную полемику (уровень дискуссии очень высок, как по именам, так и по содержанию).

В результате возникли вопросы, на которые Докинзу необходимо было ответить. Некоторые из них были вызваны простым непониманием, а часть — любопытством. Как в свете новых представлений трансформируются базовые понятия теоретической биологии, такие как ген, организм (!), популяция, адаптация и т.д.? Насколько широко они применимы и насколько серьезные ограничения налагаются на их использование? И прочее, и прочее. Я склонен считать, что в «Расширенном фенотипе» Докинз дает убедительнейшие ответы на эти вопросы. Самое любопытное, что ничего революционного не происходит: автор необычайно бережно обращается с тем, чего биологическая наука достигла ранее. Серьезной критике подвергается, пожалуй, лишь понятие «приспособленность», чему посвящена отдельная глава «Головная боль в пяти приступособлениях» (с.305—331). Автор приводит пять разных значений слова «приспособленность» и, считая это понятие крайне неудобным, предлагает обходиться без него, когда только это возможно.

Докинз не перестраивает «авгиевы конюшни» эволюционной биологии, а лишь аккуратно расчищает их. Он обращает внимание на то, что многие биологи, усвоив со школьной скамьи и признав некоторые базовые вещи, не готовы осознать их обязательных следствий. Если вы верите в существование генов, «центральную догму» и передачу наследственного материала из поколения в поколение, то, уж будьте добры, признавайте и естественный отбор, и то, на каком уровне он происходит, и то для чьего блага существуют адаптации. Отрицаете одно из следствий? Что ж, отрицайте и одну из начальных посылок. Тут выбора нет! И это не догматизм, а построение причинно-следственных связей. В сущности «Расширенный фенотип» переносит биолога из мира фантастики в реальный мир, а он, думаю, куда инте-

реснее. Представления Докинза позволяют резко очертить круг гипотез при обработке эмпирической информации, отбросив те, что откровенно противоречат логике. Это вовсе не облегчает работу и не ограничивает наших возможностей, а всего лишь приближает к истине.

Помимо критики теории группового отбора, которой больше внимания уделено в «Эгоистичном гене», Докинз анализирует, например, такие построения, как крайний адапционизм, теорию прерывистого равновесия Гульда [3,4], концепцию Геи Лавлока [5] и, самое главное, теорию «эгоистичного организма» в виде концепции совокупной приспособленности. Даже удивительно, как все это уместилось в одной небольшой книге.

На мой взгляд, «Расширенный фенотип» по широте затронутых тем может претендовать на звание «биологической энциклопедии». И это, безусловно, еще одна важнейшая причина прочитать эту книгу. Она расширит кругозор любого биолога, а уж о неспециалистах и речи нет. Энциклопедичность «Расширенного фенотипа» тем более ценна, что на страницах книги автор дает высказаться оппонентам. Цитаты из их работ полны, подробны и дают ясное представление об авторском замысле. Как пример «джентльменства» Докинза приведу его критику теории Гульда. Думаю, любому квалифицированному специалисту теория межвидового отбора кажется несколько подозрительной, однако опровергнуть ее строго логически оказывается не так просто, и Докинз скрупулезно и методично [с.178—205] разбирает ее по косточкам. Фрагменты из работ Гульда занимают при этом чуть ли не до трети всего текста!

Я намеренно мало говорю о главной идее «Расширенного фенотипа», останавливаясь больше на предпосылках и последствиях этой идеи. Мне кажется, что читателю лучше са-

тому проследить за стройными логическими рассуждениями автора и многочисленными фактическими подтверждениями правильности его подходов. Это трудно передать в двух словах и двух цитатах. Тем не менее, попытаюсь.

Начну с формулировки того, почему организм не может считаться единицей естественного отбора, в изложении самого Докинза: «Я так настойчиво указывал на фрагментацию ДНК при мейозе как на вескую причину того, почему размножающиеся половым путем организмы нельзя считать репликаторами, что теперь невольно может показаться, будто эта причина единственная. Однако будь оно так, отсюда следовало бы, что бесполое организмы являются истинными репликаторами, и там, где отсутствует половой процесс, мы имеем полное право говорить об адаптациях «для блага организма». <...> Рассматривать в качестве репликатора организм — пусть даже бесполой, вроде самки палочника, — равносильно отрицанию «центральной догмы» о ненаследуемости приобретенных признаков. Самка палочника напоминает репликатор в том смысле, что мы можем проследить последовательность, состоящую из дочери, внучки и т.д., каждая из которых оказывается копией своей предшественницы. Теперь представьте себе, что где-то в этой цепи появился дефект или повреждение — скажем, несчастное насекомое лишилось ноги. Этот изъян может остаться на всю жизнь, но следующему звену он передан не будет. Происходящие с палочниками изменения, которые не затрагивают их генов, не увековечиваются. Давайте теперь взглянем на параллельный ряд, образованный геномами дочери, внучки, правнучки и т.д. Если в этой цепи случится повреждение, то оно передастся всем последующим звеньям. Оно может отразиться и на телах всех последующих звеньев

этой цепи, потому что существуют причинно-следственные связи, ведущие от генов к организму. Однако обратного причинного влияния организма на гены не существует. Никакая деталь фенотипа палочника не является репликатором. Не является им и весь организм целиком. Неверно утверждать, что как гены способны наследовать строение своих предков, точно так же и организмы способны наследовать свое строение в череде поколений организмов» (с.172—173).

На мой взгляд, простое и блестящее рассуждение, после которого у читателя должен возникнуть вопрос: «А не может ли смешение понятий “репликатор” и “организм” (практика обычная, если речь идет об адаптациях) повлиять на наше понимание значения и причин этих адаптаций?». Может, разумеется. Пожалуй, основная часть книги и состоит в демонстрации возможного недопонимания, связанного со смешением понятий «эгоистичный организм» и «эгоистичный ген с его расширенным фенотипом». «Во многих случаях, действительно, оба взгляда на жизнь будут эквивалентны. <...> Но я буду обсуждать явления — к примеру “мейотический драйв”..., которые вовсе не имеют смысла, если наш мысленный взгляд прикован ... к эгоистичному организму» (с.27).

Добавлю, что подход Докинза оказывается единственно приемлемым и в случае, когда «интересы» гена и организма расходятся: какой смысл, к примеру, организму пчелы погибать, защищая гнездо с маткой, а вот генам польза прямая. И в тех случаях, когда ген, отвечающий за адаптацию, находится вне организма, поведение которого мы изучаем: нет смысла организму славки кормить кукушонка, а генам кукушки — дело другое. И в случаях внутривидных конфликтов любого рода. И в случаях, когда мы не знаем, где именно локализован ген, отвечающий за интересующий

нас фенотипический эффект. Партеногенез может быть невыгоден как для отдельных организмов, так и для целых популяций насекомых [6], он даже невыгоден для ядерных генов этих насекомых, но для генов бактерий *Wolbachia* и *Cardinium* [7,8], паразитирующих в цитоплазме, это отличная адаптация [9]. А если еще вспомнить, что часть бактериального генома может мигрировать в ядро, что показано для *Wolbachia* [10] (и для митохондрий, кстати), то станет понятно, что «эгоистичным организмом» нам не обойтись.

Сам Докинз находит изящную метафору, объясняя плодотворность своего подхода. «Давайте представим себе, что Марс — это утопия, где царит всеобщее доверие, абсолютная гармония, и нет ни лжи, ни эгоизма. А теперь вообразим марсианского ученого, который пытается разобрататься в человеческой жизни и технике. Допустим, объектом его изучения оказался один из наших крупных центров обработки данных — электронная вычислительная машина и связанное с ней оборудование по копированию информации, ее редактированию и исправлению ошибок. Если он будет исходить из естественного для его общества допущения, что эта аппаратура была сконструирована для всеобщего блага, то зайдет в понимание ее работы достаточно далеко. <...> Но кое-что будет оставаться затруднительным для понимания. Какой смысл в изоцифренных и дорогостоящих системах безопасности, для чего пользователям вводить секретные пароли и кодовые номера? <...> Что это, как не расточительная и абсурдная неэффективность? Нашему марсианину, выросшему в построенной на доверии утопии, потребуется самое настоящее революционное озарение, иначе он не увидит, что многие человеческие технологии имеют смысл, только когда ты понимаешь, что люди не доверяют друг другу и что одни люди действу-

ют против важнейших интересов других людей. <...> Многие из технологий человечества возникли в результате гонки вооружений и могут быть поняты только с этих позиций.

А что если молекулярные биологи... как и биологи прочих уровней, в каком-то смысле находились в положении нашего марсианина? Основываясь на допущении, что клетка — это место, где молекулярные машины жужжат своими моторчиками ради блага организма, они продвинулись очень далеко. Они могут зайти еще дальше, если начнут смотреть на вещи более цинично и не будут упускать из виду того, что присутствие одних молекул может не сулить добра с точки зрения других» (с.278—279).

Подытожу сказанное формулировкой Докинза «центральной теоремы расширенного фенотипа»: «Поведение животного стремится максимизировать выживаемость генов этого поведения, независимо от того, находятся ли эти гены в организме животного, данное поведение осуществляющего» (с.418). Докинз пишет: «Подобно тому, как каждый ген представляет собой эпицентр излучаемого им силового поля, воздействующего на мир, точно так же и каждый фенотипический признак является центром, в котором сходятся влия-

ния многих генов — как изнутри, так и снаружи данного индивидуального организма» (с.401). Таким образом, автор демонстрирует нам ситуации, в которых иные подходы оказываются неэффективны.

Остается отметить, что краткий (и далеко не полный) пересказ содержания «Расширенного фенотипа» и приведенные цитаты дают лишь очень слабое представление как об убедительности аргументации Докинза, так и о совершенстве его стиля и художественности изложения. И здесь уместно упомянуть о переводчике, сумевшем передать и легкость языка Докинза, и глубину содержания книги.

У русскоязычного читателя, наконец, появилась возможность действительно познакомиться с идеями крупнейшего британского ученого. К слову, большинство специалистов, критикующих или восхваляющих работы Докинза в Рунете (а больше его работы у нас нигде не обсуждаются) либо знакомы с его идеями от людей, которым полностью доверяют, либо пытались читать в оригинале, но, судя по высказываниям, не осилили, либо читали выложенный в Интернете перевод, не выдерживающий никакой критики*. Создается впечатление, что «блогеры» полемизируют не с настоящим,

* <http://protopop.chat.ru/eph/eph.html>.

а с фантастическим Ричардом Докинзом. Но оставим все это для обсуждения в Интернете и на совести авторов. Главное событие состоялось — пусть поздно (оригинал книги выпущен в 1972 г.), пусть не столь триумфально, как хотелось бы, но книга, сыгравшая огромную роль в возрождении интереса к науке, вышла. Случилось это благодаря фонду «Династия», который оказывает реальную поддержку одаренным ученым, поднимает престиж российской науки, при этом много внимания уделяет ее популяризации.

Многие, очень многие люди не хотят быть невеждами, они хотят мыслить широко, ясно и глубоко. Надо только помочь им немного. «Расширенный фенотип», безусловно, может помочь. Любому, кто желает связать свое будущее с интеллектуальной деятельностью, она будет полезна как пример добросовестной и бескомпромиссной работы мысли, где строгая логика и богатейшая фантазия смешаны в надлежащей пропорции. Если перед наступлением Рагнарека отечественной биологии, а он, порою кажется, не за горами, мне разрешили бы передать из гибнущего мира в будущий только одну книгу, я безусловно выбрал бы «Расширенный фенотип». Убедился в этом, перечитывая книгу Докинза в очередной раз при подготовке рецензии. ■

Литература

1. Докинз Р. Эгоистичный ген. М., 1993.
2. Orgel L.E., Crick F.H.C. Selfish DNA: the ultimate parasite // Nature. 1980. V.284. P.604—607.
3. Eldredge N., Gould S.J. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism // Models in Paleobiology / Ed. T.J.M. Schopf. San Francisco, 1972. P.82—115.
4. Eldredge N., Gould S.J. Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered // Paleobiology. 1977. №3. P.115—151.
5. Lovelock J.E. Gaia: a new look at life on earth. Oxford, 1979.
6. Hurst G.D.D., Jiggins F.M., Schulenberg J.H.G. et al. Male-killing Wolbachia in two species of insect // Proc. R. Soc. Lond. 1999. V.266. P.735—740.
7. Giorgini M., Monti M., Caprio C. et al. Feminization and the collapse of haplodiploidy in an asexual parasitoid wasp harboring the bacterial symbiont *Cardinium* // Heredity. 2009. №102. P.365—371.
8. Stouthamer R., Kazmer D.J. Cytogenetics of microbe-associated parthenogenesis and its consequences for gene flow in *Trichogramma* wasps // Heredity. 1994. №73. P.317—327.
9. Knight J. Meet the Herod bug // Nature. 2001. №412. P.12—14.
10. Kondo N., Nikoh N., Ijichi N. et al. Genome fragment of *Wolbachia* endosymbiont transferred to X chromosome of host insect // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2002. V.99. P.14280—14285.

Биология

К.Циммер. ПАРАЗИТЫ. ТАЙНЫЙ МИР. Пер. с англ. Н.Лисовой; под ред. Ф.Кондрашева и А.Лазарева. М.: Альпина нон-фикшн, 2011. 362 с.

Известный научный журналист и популяризатор науки Карл Циммер открывает перед читателем удивительный мир, почти недоступный непосредственному наблюдению, — мир паразитов. Долгое время даже профессиональные биологи мало что знали о нем, не говоря о широкой публике: уж очень необычными свойствами обладают эти существа, способные притаиться в самых укромных уголках тел животных и людей, на протяжении жизненного цикла до неузнаваемости меняющие свой внешний облик, подчас по нескольку раз. Их удивительные и изощренные приспособления, позволяющие проникать в тело хозяина, путешествовать в нем, безошибочно находя место, в котором можно размножиться, чтобы затем покинуть его в поисках очередной жертвы, — пример неиссякаемой изобретательности природы, превосходящей самое богатое воображение.

Книга написана живым, доступным языком, понятным даже людям, почти ничего не знающим о биологии. Этот стиль вполне адекватно передан в русском переводе. Однако хотелось бы большей строгости и точности научного редактирования: встречаются неудачные термины, ошибки перевода, пропущенные редакторами. Так, например, непонятно, кто такие «ластоногие рачки» — термин, вынесенный в глосса-

рий. Очевидно, имелись в виду веслоногие рачки. Много терминов-калек, заимствованных из английского, тогда как для них есть общепринятые русские слова.

Издание богато иллюстрировано фотографиями (к сожалению, черно-белыми), снабжено обширным списком литературы, глоссарием и предметным указателем. Подобный справочный аппарат редко встречается в популярной литературе, и здесь он очень кстати, так как позволяет сориентироваться в теме, охватывающей весь спектр биологических дисциплин — экологию, морфологию, эмбриологию, зоологию позвоночных и беспозвоночных, иммунологию и многое, многое другое. Можно рекомендовать ее читателям с самой разной подготовкой, начиная со школьников.

История науки

Г.В.Гайдук. ДОКЛАССИЧЕСКОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ КОНЦА XV — СЕРЕДИНЫ XVIII ВЕКА. Минск: ФУАинформ, 2010. 416 с.

Трудно представить, сколько удивительных загадок еще хранится в архивах и библиотеках. Даже незначительное исследование рукописных и старопечатных работ показало, что можно извлечь по астрономии, истории, медицине и другим наукам в разных местах Беларуси, Польши, России, Украины, Литвы. Несомненно, это связано с историей этих стран. Информация соседей мало изучена, а ведь временами она хранит настоящие жемчужины.

Книга погружает читателя в удивительный мир натурфилософских, научных и многих

сопредельных им идей, наполнявших социокультурное пространство Восточной Европы XV—XVIII вв. Это результат скрупулезных исследований редких архивных документов, рукописей и книг. Содержание многих из них впервые в новейшей истории станет доступно читателям — как ученым-историкам, так и всем, интересующимся культурой стран восточноевропейских держав. В публикациях на эту тему зачастую приводятся слишком фрагментарные представления. Перед автором книги стояла задача — дать целостную картину. Получилось или нет, судить читателю. Остается только сожалеть о недостаточном знании языков народов Средневековья, что стало препятствием для более глубокого изучения документов.

Более подробно автор останавливается на проблеме зарождения и изучения астрономии на территории Беларуси: знакомит читателя с документами о Франциске Скорине, Симеоне Полоцком, из архивов Радзивиллов и библиотек русских царей. Приводятся подробные расчеты составления календарных систем на основе циклов астрономических явлений. Интересен фактический материал из книг «Театр комет» Станислава Любенецкого и «Экспериментальная практика о кометах...» пана Малаховского. Читателю предоставляется возможность погрузиться в процесс познания Вселенной средневековыми методами наблюдений и вычислений.

К достоинствам книги можно отнести наличие большого числа иллюстраций, создающих особый колорит времени.

Вверх по Енисею

С.П.Горшков,

доктор географических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Воскресенье в г.Тромсё на севере Норвегии 23 января 2011 г. был дан старт торжествам Юбилейного года, посвященного двум национальным героям — полярным исследователям Фритьофу Нансену (1861—1927) и Руаля Амундсену (1872—1928). Министр иностранных дел Норвегии Йонас Гар Стёре официально объявил о его начале. В 2011 г. совпали две даты — 150-летие со дня рождения Фритьофа Нансена и 100-летие со дня достижения экспедицией Руаля Амундсена Южного полюса. Стёре подчеркнул, что север планеты — приоритет внешней политики Норвегии, что необходимо защищать природу Арктического сектора и что в определенном смысле Крайний Север и Арктика — общие территории для России и Норвегии.

Здесь и дальше будут цитироваться фрагменты из упомянутой книги Нансена (они будут даваться курсивом)*. Только так можно увидеть, какой это был скромный и обаятельный человек, постоянный искатель новых знаний о природе и человеке, великий гуманист, международный деятель, полностью отдававший себя служению людям, особенно нуждавшимся в помощи. Крупный исследователь высокоширотных пространств северного полушария, он имел докторскую степень и был профессором Университета в Христиании (Осло).

Как и почему, собственно, я попал в это общество, в сущности так и осталось для меня загадкой: меня ведь никоим об-

* Авторское название уточнено по изданию на английском языке — Through Siberia. The land of the future. L., 1914.

разом нельзя причислить к коммерсантам, и с Сибирью я никогда не имел никакой связи, только проехал однажды вдоль ее северного побережья. Впрочем, я всегда живо интересовался этой необъятной окраиной и не прочь был познакомиться с нею поближе. Не знаю я также за своей особой какого-либо особого преимущества, которое могло бы сделать мое присутствие желательным; разве вот только то, что я когда-то плывал по Карскому морю и вообще обладаю некоторым опытом по части плавания во льдах. Поэтому, должно быть, Лид несколько раз и обращался ко мне, чтобы узнать мое мнение о возможности установления ежегодных рейсов через Карское море. Возможно, что у него при этом составилось представление, что я ин-

Из Тромсё в устье Енисея

5 августа 1913 г. из г.Тромсё с целью достигнуть устья Енисея отплыл пароход «Коррект». На нем кроме основателя «Сибирского акционерного общества пароходства, промышленности и торговли» и инициатора экспедиции В.В.Лиды по его приглашению ехали: будущий лауреат Нобелевской премии мира (1922) Фритьоф Нансен, золотопромышленник В.В.Востротин и секретарь посольства России в Норвегии И.И.Лорис-Меликов. Капитаном «Корректа» был И.Самуэльсон.

По страницам книги Ф.Нансена «Через Сибирь. Вь страну будущего». Авторский пер. с норвеж. А. и П.Ганзенов. Пг., 1915.



Капитан Самуэльсон, И.Г.Лорис-Меликов, И.И.Лид, С.В.Востротин, Ф.Нансен.

© Горшков С.П., 2011



Ф.Нансен на капитанском мостике.

интересуюсь самим вопросом, и вот в один прекрасный день я получил от Сибирского акционерного общества приглашение совершить на пароходе Коррект, в качестве гостя, путешествие к устью Енисея. Одновременно пришло от Е.Д.Вурцеля, управляющего казенными сибирскими железными дорогами, необыкновенно любезное приглашение проехать с ним дальше вверх по Енисею и затем по железной дороге в Восточную Сибирь и Приамурье для осмотра строящейся там новой железной дороги. А русский министр путей сообщения присоединил к упомянутому приглашению любезное предложение считать себя во время всего путешествия гостем России (с.12–13).

«Коррект», взявший курс на пролив Маточкин шар, пересек, как намечалось, Баренцево море. Но 10 августа в густом тумане пришлось отклониться на север, и судно через Карские ворота вошло в Карское море.

В 11 утра показался Ямал. 12 августа к судну подошла лод-

ка с самоедами*. Они очень мало понимали по-русски. Нансен сделал записи об их обычаях и особенностях хозяйства. Они совмещали кочевое оленеводство с летней охотой на морских животных и зимней — на пушного зверя. *Вообще самоедам на Ямале хорошо. Эта страна изобилует обширными тучными пастбищами для оленей, пушным зверем, птицей и рыбой... Некоторые самоеды имеют стада до пяти тысяч голов; те же, у кого не более двухсот-трехсот оленей, считаются мало зажиточными (с.38).*

С 12 по 23 августа «Коррект» пробыл в устье Енисея. Решающую роль в успехе сыграли опыт и интуиция Нансена. Вопреки мнению корабельного лоцмана, Нансен настоял продвигаться в прибрежной зоне, где часто возникает полынья, когда ветер дует с суши и отодвигает от нее ледовые поля. Иногда судно стояло во льдах. Куда ни кинь взгляд, всюду был виден лед. Но вот появилась возможность выхода на свободную воду. То прижимаясь, то немного удаляясь от западного берега Ямала, «Коррект» вышел на чистый ото льда фарватер, с севера обогнул Белый остров, затем Гыдан, продвинулся к о.Сибирякова и в полночь с 23 на 24 августа встали на якорь между материком и о.Диксон. Утром состоялась экскурсия на Диксон.

25 августа, входя в устье Енисея, далеко — милях в двадцати — виднелись избы с плоскими крышами и лодки — как на берегу, так и между островами. На «Корректе» был поднят флаг. Участники экспедиции ощутили, что плывут по великой реке. *Какие могучие водные массы впадают здесь в океан! Впечатление получается грандиозное, чувствуешь, что находишься у входа в одну из величайших водных артерий мира (с.76).*

Вечером 26 августа во время стоянки вблизи Сопочной Карги

* Самоеды — старое русское название самов и других народов Русского Севера и Сибири.

из общения с русскими рыболовами узнали, что в водах реки ловят огромное количество омуля, тугуна (мелкая сиговая порода), а также сельдь и нельму, а в 1859 г. в устье Енисея были пойманы 25 небольших китов, много дельфинов и белуха. Позже Нансен отметил, что в низовьях Енисея в изобилии ловится осетр, стерлядь, некоторые породы семговых, сиг, нельма, чир, омуль, муксун, сельдь. Рыба достигает крупных размеров (например, осетр — 90–100 кг). Ловят ее в основном неводами. Купцы имеют большую выгоду, скупая и вывозя рыбу на юг.

28 августа «Коррект» был выведен и встал на якорь у Носовского острова, куда пришел и пароход «Туруханск». Встреча пароходов состоялась с опозданием на два дня. Неплохой итог. Из Норвегии проплыли 3300 км, а с юга по Енисею — 2200 км. С «Корректа» на баржи, которые транспортировал «Туруханск», надо было перегрузить 1000 т цемента. С барж на «Коррект» — двух верблюдов из Монголии, двух медведей из сибирской тайги, одного волка. Еще — бревна сибирского кедра, сосны и ели, тюки льна и конопли, кож, шерсти и волоса, а также много оленьих и лосиных рогов, да около 30 т графита.

Теперь Нансену, Востротину и Лорис-Меликову предстояло ехать по Енисею 1800 км до Енисейска. Требовалось время перезагрузить товары. Прибытие Нансена в Красноярск 25 сентября для встречи с Вурцелем выглядело нереальным.

До отъезда они посетили живших на берегу самоедов, во многих чумах которых имелись русские иконы. Нансен, занимавшийся этнологией малых народов Севера, в частности, отметил следующее.

При некотором общении с самоедами бросается в глаза строгое разделение труда между мужчиной и женщиной. На мужчине лежит все, что касается оленеводства, езды на оленях, рыбной ловли и охоты.

Стоит же ему очутиться у себя в чуме, как он палец о палец не ударит, если не считать кое-какой починки охотничьих или рыболовных снастей. Женщины готовят добычу впрок, ведут все домашнее хозяйство, занимаются выделкой шкур, шитьем и готовят пищу. Они же устанавливают чум и поддерживают в нем порядок, а также разбирают его и переносят на другое место в случае нужды. Они же, разумеется, нянчат детей.

Несмотря на такое подчиненное положение женщины, обращаются с нею, в общем, по-видимому, хорошо, и в большинстве случаев не может быть и речи о каком-либо гнете, а жестокость подавно явление крайне редкое. В качестве хозяйки женщина играет большую роль, и муж совещается с нею во всех важных делах. Немалое число женщин, вероятно, и сами верховодят в доме, забрав мужей под башмак. В пьяном виде, конечно, случается супругам и подражаться, но в общем самоеды добродушный народ.

Особой плодовитости среди самоедов не замечается, и мне нигде не случалось видеть у них много детей. Все большие двоетрое, иногда, впрочем, и больше, особенно в полигамических семьях (с.105—106).

Нансен подчеркивал, что самоеды, как и другие малочисленные народы, сильно страдают и вырождаются от соприкосновения с европейской цивилизацией.

Не без юмора Нансен сообщает об обещании Лида угостить всех бифштексом из мяса мамонта, мерзлые туши которых не редкость в вечной мерзлоте Енисейского севера. Но и здесь Нансен ставит вопросы как палеонтолог и палеогеограф. Как попали сюда эти животные? Как застала их смерть и могли ли их чудовищные туши так быстро замерзнуть? Будучи исследователем Арктики и ее огромного окаймления в виде криолитозоны, он искал новые



«Коррект» во льдах 18 августа 1913 г.

факты, которые помогли бы раскрыть тайны динамики вечной мерзлоты, зависимости ее распространения от климата, влияния мерзлотных условий на состояние почв и растительности. К вопросам, наблюдениям и выводам из области геофизиологии и мерзлотного ландшафтоведения Нансен постоянно добавлял свои замечания в рамках геологии и геоморфологии. Так, одиночные огромные валуны и их скопления на берегах Енисея он объяснял переносом их речным льдом, а асимметрию

долины Енисея — действием фактора вращения Земли, отклоняющего речные потоки вправо в Северном полушарии, что делает правые склоны речных долин круче, чем левые.

2 сентября из Красноярска к месту затянувшейся стоянки прибыло небольшое моторное судно «Омуль». Его капитан доложил, что по распоряжению Вурцеля должен принять кого-то с «Корректы». Кого именно, ему не сказано.

Пока шли сборы, прибыл пароход «Орел».



Енисейские самоеды.

Утром же, перед нашим отъездом, прибыл еще один паром Енисейск, на котором следовал значительный наряд жандармов под командой офицера и полицейский чиновник из Туруханска. Кроме того, на Орле приехал, по-видимому, агент сыскной полиции. Чего доброго, вся эта компания пожаловала сюда только потому, что Корректу вздумалось посетить эти края. Итого при нас состояли теперь: один таможенный чиновник, два солдата пограничной стражи, жандармский офицер, два полицейских и, должно быть, агент сыскной полиции,— всего восемь или девять человек. Прибавив к этому числу капитана Туруханска и капитанов всех барж, получим двенадцать-тринадцать человек, тогда как перегрузкой было занято всего восемь человек рабочих, и нельзя было не удивиться такому странному распределению профессий. Впрочем, на Енисейске прибыло, по всей вероятности, еще восемь рабочих, так что работа должна была двинуться быстрее (с.132—133).

По Енисею до Енисейска и на тарантасе до Красноярска

Плавание вверх по Енисею на маленьком «Омule» длилось с 3 по 21 сентября. Ночью приходилось останавливаться. Фарватер знал только капитан, стоявший у штурвала с раннего утра до вечера. Первая остановка.

Стояла чудная ночь. Когда я вышел на палубу около полуночи, на севере, за темными, словно дым, тучами, горела над водной поверхностью багряная заря. Прямо над головою сверкала Венера, а еще выше играло яркое северное сияние. Зрелище было поразительно красивое. Наверху темно-синий небесный купол в звездах, внизу водная поверхность, отражавшая небо, а сбоку низкий речной берег и беспредельная тундра (с.136).

Утром 4 сентября подплыли к берегу с вполне благоустроенным домом и, поднимаясь к нему, увидели упитанную корову, видимо, единственную представительницу своей породы на севере Сибири на широте 70°05'. Вокруг росла сочная трава. Рядом лежали кучи скошенной травы, но стогов не было, что удивило Нансена.

Под вечер, когда мы подвигались дальше вдоль восточного берега, случилось нечто необычное. Мы увидели вынырнувшие из-за края холма первые деревья, росшие в Маленькой долине. Это были небольшие лиственницы. Их было немного, и они были разбросаны по всей долине, напоминая скорее кусты. Но скоро деревья стали встречаться чаще, и начался лес, первый увиденный нами в этих краях, приблизительно на 69°43' с.ш., т.е. почти на широте Тромсё (с.142).

Здесь проходила тогда северная граница лесотундры.

Фиксируя ее, Нансен продолжает вести этнологические наблюдения. Вот запись 5 сентября. Интересно было наблюдать разнообразие типов русского населения. Многие поражали своим сходством со скандинавами. Одного белокурого парня, лет восемнадцати, всякий принял бы за норвежского крестьянина. Вообще, среди русских попадалось много блондинов с голубыми глазами, а также русых с вьющимися волосами. Встречались очень рослые и здоровые парни. Как-то невольно приходило в голову, что скандинавы некогда побывали и здесь. Мы заглянули к одной красивой молодой чете. И кухня и комнаты, которые они занимали, были светлые, чистые, с выбеленными стенами. В стене между кухней и комнатой помещалась, по обыкновению, русская печь, а в комнате имелась, кроме того, маленькая железная печка, которую приходится топить беспрерывно в жестокие зимние морозы, когда температура падает до 40—50° ниже нуля (с.145—146).

Был тут и один русский паренек с такой милой улыбкой и такими ослепительно белыми зубами, что я оторваться от него не мог. Вообще у меня осталось впечатление, что у многих русских, как у мужчин, так и у женщин, на редкость крепкие белые зубы (с.151).

В Дудинке, в лавке в большом доме, Нансен был немало поражен, увидев на темной обертке пачки папирос вытесненную белым прелестную женскую головку и крупную надпись «Нора». Папиросы напомнили ему об Ибсене.

Должен признаться, мое национальное самолюбие было немало польщено. Стало быть, Ибсен и женский вопрос пользовались здесь такой популярностью, что коммерсанты нашли выгодным пустить в продажу папиросы с именем ибсеновской героини (с.153).

6 сентября южнее Дудинки началась настоящая тайга.

Лес, в который мы медленно углубляемся, не имеет себе равного по величине во всем мире. Он тянется беспрерывно от этих мест до земледельческой полосы и степей на юге, значительно южнее самой южной части Байкала, т.е. на протяжении более 1800 верст по прямой линии с севера на юг. С запада же на восток он тянется от Уральского хребта до Тихого океана и Камчатки; значит, на протяжении почти 5½ тысячи верст. Сплошной лесной ковер, прерываемый только широкими пространствами медленно текущих рек. Это — сибирская тайга...

И у тундры, и у тайги своя поэзия, своя меланхолия, свои светлые мечты, отмеченные крупными простыми штрихами в вечном круговороте жизни: яркая зелень лесов и травы, синь озер и речных заводей летом, багрянец и золото осени, бесконечный белоснежный саван зимы, озаренный днем сверкающим солнцем, а долгою зимнею ночью — тихим светом луны, трескучие морозы и свирепые

бураны и, наконец, новое пробуждение природы весной, журчащие под снегом ручьи, прилет птиц бесконечными вереницами, тысяч и миллионов гусей, уток и куликов! (с.162—163).

Видя на берегах заготовленные на зиму стога сена, Нансен отметил, что так делали 100 лет назад в Норвегии, но затем под сено стали строить сараи. Удивляло также, что сибиряки зимой содержат коров не в теплых хлевах, как у него на родине, а в холодных сараях. И это при обилии бесплатного строевого леса.

В целом тайга здесь редкостойная из-за наличия вечной мерзлоты. Сравнивая местные климатические условия, а также лесорастительные свойства хвойных пород с севером Норвегии, Нансен полагал, что интродукция сибирской лиственницы и ели могла бы быть полезной лесному хозяйству на его родине. Здесь же хвойный лес все чаще уничтожают пожары из-за преступного обращения с огнем многих жителей. На горях вырастает малоценный лиственный лес.

Еще хуже другое. На Туруханский округ площадью полтора миллиона квадратных верст полагается один доктор. И иногда возникавшие здесь эпидемии оспы становились массовой трагедией для местного населения.

Южнее Дудинки состав населения изменился. Началась, как отметил Нансен, область проживания остяков и тунгусов. Но приходится спешить. «Омуль» плывет только с остановками на ночлег, хотя на берегах много остяцких чумов.

8 сентября, вечер. Встали для пополнения запаса топлива в устье р.Курейки. Экскурсия в тайгу. Ночлег. Утром отплыли, но встали из-за тумана. Лишь 10-го утром достигли Туруханска, где расположен Троицкий монастырь. Туруханск — место для уголовных и политических ссыльных, коих было в тот момент двадцать. Надзор осуществляли пристав и 10 казаков.



Моторное судно «Омуль». Отправление с «Корректы».

Фото И.И.Лида

Пристав г.Кибиров, скромный, чрезвычайно милый и добродушный господин, принял нас очень радушно, в нем не было и тени грубости или жестокости, которые можно было бы ожидать встретить в столь могущественной персоне в этом краю преступников и ссыльных (с.184).

Лет пять-шесть назад несколько политических ссыльных организовали вооруженную группу, разросшуюся до 20 человек. Они продвигались на север с целью уйти на Аляску, но были частично убиты солдатами, а оставшихся доставили в Красноярск, где они были повешены по приговору суда.

Ни в какие такие воинственные приключения, однако, не верилось, глядя на эту мирную контору и этого милого пристава, так радушно пригласившего нас на чашку чая (с.187).

Из этих сюжетов видно, как гостеприимно встретил Нансена и его спутников пристав Кибиров и с каким тактом, доброжелательностью и оттенком доброго юмора пишет о нем и его работе Нансен.

В тот же день из Туруханска поплыли дальше.

В девять часов совершенно стемнело, и мы бросили якорь

на ночную стоянку. Дул резкий ветер, снасти натягивались и трепались. На опушке леса, на гребне косогора, просвечивал между деревьями огонь костра. Пожалуй, это расположились перед своей палаткой рабочие, проводившие телеграфную линию.

Меня как-то безотчетно потянуло на этот огонек в лесу. Я сидел на палубе и смотрел на него; ветер крепчал и обдавал брызгами борт нашего утлого суденышка; на могучей реке, убегающей извилами к северу, среди бесконечной лесной равнины, расходились волны, становясь все сильнее и сильнее. Однообразная замкнутая жизнь на таком тесном судне способна навеять скуку. Не мудрено, что меня так сильно потянуло посмотреть на лица, устремленные в пламя этого костра, поразузнать, как им там живется, захотелось самому полежать у костра, прислушиваясь к шуму леса и глядя, как огненные языки, лижущие громадные поленья, отбрасывают пляшущие тени на стволы деревьев, как дневной свет исчезает, и только на далеком западе, за лесом, остается алая узенькая полоса, как ночь кроет все густым покровом. Ах, этот лес!

Здесь он еще больше, беспредельнее, чем где бы то ни было, — здесь бесконечная тайга. Право, люди не созданы для городской жизни! (с.196).

11 сентября проплывали много деревень.

Трудно сказать, чем, собственно, живет местное население. Главным образом, должно быть, рыбной ловлей в реке, затем торговлей с инородцами, особенно скупкой пушнины, кроме того, скотоводством и местами оленеводством. Земледелия пока здесь еще нет совсем.

Вечер выдался чудесный. Несмотря на противный ветер, можно оставаться на палубе без верхнего платья, не опасаясь продрогнуть. Но мы все еще находимся на 64°40' с.ш., т.е. севернее Намсоса. По-видимому, в Сибири не так холодно, как говорят. Зима здесь, правда, суровая, зато летом иногда бывает невыносимо жарко. Больше всего досаждают тогда комары, их здесь целые тучи, и, кроме них, нечто еще похуже — мелкая мошкара. Востротин говорит, что коровы летом худеют и нагуливают себе жир зимою на сене, а не на подножном корму летом, когда их кусают комары, мухи и оводы.

Но что это? На юго-востоке, над краем леса, внезапно загорается желтое зарево... Неужели лесной пожар?! Нет, про-

сто над берегом восходит яркий, почти полный месяц, и вершины деревьев резко вырисовываются на фоне светлого неба. Месяц подымается выше и посылает нам колеблющуюся на водной поверхности золотую полосу света, плывет над черным гребнем леса, и под магическим действием лунного света вся местность превращается в дивный спальный чертог ночи, полный тишины и безмолвия. Небо чисто, только на юго-западе темная гряда облаков. На северо-западном горизонте догорает багряный отблеск дневного света; выше он принимает желтовато-зеленый оттенок и наконец сливается с бездонной синевой небесного свода, откуда слабо мерцают сотни звезд. На юге, под лунным диском, небо светло-фиолетового цвета. Под равномерный стук машины мы подвигаемся все дальше к югу, а под нами безостановочно скользят к далекому северу могучие, никогда не знающие отдыха водные массы. Во все стороны растilaется темно-синий муар, гладкие спокойные омуты рябят от ветра, пенистый след парохода уходит в ночную тьму. А по обе стороны реки темнеют береговые обрывы, чернеет бесконечный лес (с.198—199). 13 сентября под вечер остановились у Верхнеимбатского.

Вошел месяц, и мы решили пройти по берегу к церкви, белые стены, купола и шпиль которой фантастично вырисовывались на высоком береговом обрыве, на фоне залитого лунным светом неба (с.207).

14 сентября чем дальше двигались к югу, тем оживленнее становились берега. В одном месте на берегу пасли стадо коров. Все чаще на них виднелись лошади, иногда целые табуны голов в тридцать. Ночевали у деревни Мирный и на следующий день к вечеру добрались до Сумарокова. Здесь у берега стояли около 30 остяцких лодок. Виднелись их берестяные чумы.

Когда мы сошли на берег, нас сейчас же окружила толпа полупьяных и пьяных горластых остяков, впрочем, довольно мирно и благодушно настроенных. По косогору там и сям развалились пьяные, мывавшие и храпевшие, словно звери при последнем издыхании. Между развешанными сетями и лодками, вытащенными на берег, расположились преимущественно более пожилые бабы. Некоторые почти без чувств привалились к бортам лодок; другим удавалось осторожно подняться на ноги и шатающейся походкой пройти несколько шагов, но затем они вновь валились и уже не вставали больше. Никого из других это, по-видимому, ничуть не удивляло. Я сам видел, как молодые девушки болтали с пьяными старухами, словно с теми ничего особенного не приключилось или случилось нечто весьма обыкновенное.

Стоит инородцу немножко охмелеть, и он продаст что угодно, лишь бы достать еще водки. В этом случае он походит на морфиниста и готов за бутылку водки перепродать товар, который только что купил у купца в кредит. Этой слабостью пользуются здесь, как и всюду на земле, многочисленные бессовестные аферисты, выманивающие в обмен на проклятое зелье все, что у инород-



Группа енисейских остяков. Русские стоят справа и на заднем плане.

цев найдется ценного, — главным образом, конечно, пушнину, добычу зимнего лова.

Зрелище было, в общем, очень печальное, и мы поспешили уйти в деревню, чтобы заглянуть к купцу, знакомому Востротина, приславшему нам приглашение. Дома были такие же уютные, приземистые, как и во всех других деревнях. В низенькой теплой горнице с обычными маленькими оконцами нас встретил хозяин, осанистый и благодушный мужчина, лет тридцати восьми. Он очень сердечно приветствовал нас, но долго пенял Востротину по поводу внезапного нашего приезда. Ему и в голову не приходило, чтобы мы могли прибыть иначе как на одном из больших пароходов. Знай он, что мы возьмем да приедем на таком крошечном суденышке, он бы уж постарался не напиться до нашего приезда. В жизни своей не приходилось мне встречать столь вежливого во хмелю человека. Впрочем, глядя на него, трудно было даже заметить, что он пьян: поступь у него была твердая и ритмичная, как у солдата, и к тому же он, как упомянуто, был необычайно вежлив и любезен (с.215—216).

Знакомый Востротина рассказал, что енисейские остяки — несчастный, нищенский народ. Все они в невылазном долгу у купцов, каждый рублей на 500, а то и больше. Главное зло — водка. Если ее ввоз не запретят, инородцы постепенно вымрут совсем. От существующего запрета торговли водкой толку нет. Он утверждал, что в остяках нет русской крови. Русские почти никогда не вступают с ними в браки, а остяцкие женщины не идут на внебрачные связи с русскими. Из-за почти полного уничтожения соболя в тайге остякам все труднее выплачивать долги. Живут они вдоль Енисея от Сумарокова и севернее до Туруханска и чуть дальше. Утром Нансен смог определить, что среди остяков видны разные типы.

С 16 по 21 сентября «Омуль» покрыл оставшиеся 700 км от Сумарокова до Енисейска. Сначала в пути — все тот же бесконечный лес. Нансен пишет, что лет через 100, даже через 50, здесь лесов наверное уже не будет, как они исчезли по американским рекам. Немного южнее 60° с.ш. деревни следуют одна за другой. Добрались наконец до земледельческой полосы, которая тянется отсюда на тысячи верст. Сохраняющееся общинное владение полями тормозит совершенствование земледелия. Но целый ряд законов дал крестьянам возможность владеть землей, и в этом отношении в Сибири произошли позитивные изменения. Правда, из-за избытка земли нередко применяется хищническое земледелие. Расходуется природное почвенное плодородие, и истощенная земля забрасывается, а возможность удобрять землю навозом игнорируется. Мешает развитию отсутствие механизации на лесопилках. Причины очевидной экономической отсталости Сибири Нансен видел в избытке природных ресурсов, дешевизне ручного труда и следовании устаревшим традициям.

21 сентября — воскресенье. Завершался енисейский этап экспедиции.

Наконец-то нам предстояло очутиться в большом городе. Около часу дня мы начали различать колокольни, а по мере приближения над рекой стали вырастать зеленые и золотые купола и белые стены церквей. Я не знаю, сколько именно церквей в городе, но я насчитал их не меньше 12-13. В общем, город почти сплошь состоит из низеньких деревянных домов; большие каменные дома составляют исключения.

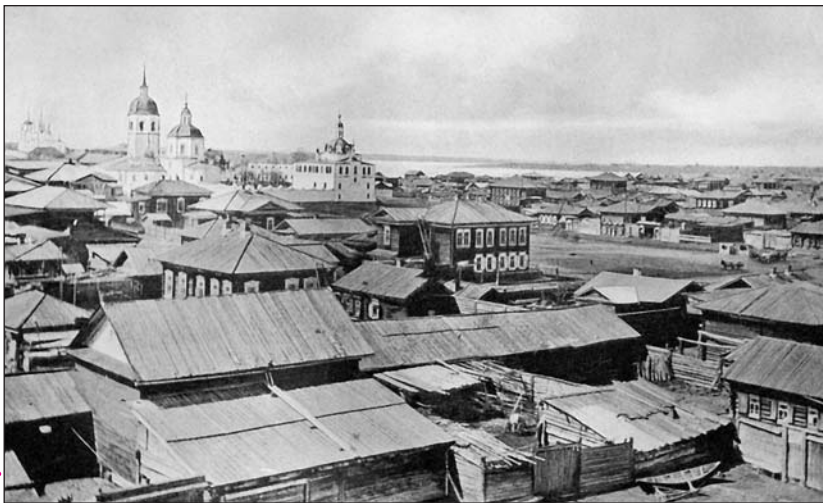
В бинокль мы разглядели на берегу и на пристани большое скопление народу... В числе встретивших нас на пристани находился сам городской голова с цепью на шее, исправник в полной форме, директор гимназии, тоже в форме, и другие почтенные обитатели города.

Были произнесены приветственные речи по-русски и по-немецки, потом начались взаимные представления, и все это было в первую минуту так странно и неожиданно для нас, приехавших с Севера. А в конце концов и нам самим стало казаться, что мы и впрямь совершили чрезвычайно большое и важное путешествие!

Потом нас посадили в экипаж и повезли в великолепный большой каменный дом, настоящий дворец, принадлежавший невестке Востротина, Анастасии Алексеевне Кытмановой, которая приняла нас с чисто сибирским радушием. Какой контраст представляли эти огромные залы с нашей маленькой каютой на Омуде! (с.251—252).

22—23 сентября город устроил торжественный прием в честь прибывших. Сначала в рекреационном зале мужской гимназии, куда привели и девочек гимназисток. Нансен рассказал о путешествии к Северному полюсу на «Фраме» в 1893—1896 гг. В клубе был дан большой завтрак с почетными лицами города, потом гостей повели в музей, где особенно интересной была коллекция одежды, орудий и утвари енисейских остяков, а также аксесуары, рисующие быт самоедов, тунгусов и др. Были другие мероприятия и только вечером все трое укатили в Красноярск на двух тарантасах со спальными местами. Ехали день и ночь. Остановивались на 13 станциях, где меняли лошадей.

Своеобразный народ — сибирские ямщики. Все их самолюбие заключается в том, чтобы ехать как можно быстрее и тем показать, что они знают свое дело. Поэтому они ни минуты не оставляют лошадей в покое: то погоняют и хлещут их кнутом, то подбадривают протяжным заунывным воем, то веселым отрывистым покрикиванием и причмокиванием. Кроме того, пускаются с лошадьми в длинные разговоры, беседуют с ними, словно с самыми близкими родными, не жалея ласковых



Енисейск. 1913 г.

и бранных эпитетов, как приличных, так и неприличных. Доченька, братец, березонька, подружка, миляга, — уговаривают они лошадей, а потом вдруг возьмут да выругаются и объявят им, что мать их была такая, сякая и разэтакая.

А худые быстрые лошадки стараются изо всех сил и бегут во всю прыть по тяжелым размякшим дорогам, в которых вязнут колеса, и грязь брызгами и комками летит из-под копыт, нещадно обдавая нас. Кореннику вообще полагается идти рысью, а пристяжным вскачь, но, подгоняемые криками, лошади все несутся галопом, и мы мчимся вперед по невылазной грязи, высоко подпрыгивая на ухабах (с.266).

25 сентября вечером прибыли в Красноярск.

...У въезда в город пылали костры и факелы. Когда мы подъехали поближе, то различили при свете костров темную массу народа и арку, украшенную русскими и норвежскими флагами; темные фигуры двигались взад и вперед и махали факелами.

Экипаж, можно сказать, врезался в толпу и застрял в ней под крики ура. Пришлось нам выйти и выслушать приветствия городского головы, председателя Географического

общества, представителя губернатора, который сам был в отъезде. Речи покрывались восторженными ура, дождь продолжал моросить, а факелы и костры ярко пылать. Картина получилась фантастическая. Все эти люди стояли под дождем и ждали нас с трех часов дня. Досадно, но вина была не наша (с.270).

В Красноярске Нансен гостил в роскошном доме купца П.И.Гадалова. Вместе с его сыном и хранителем местного музея верхом на лошадях обследовали примыкавшие горы Восточного Саяна. Ученый установил, что следы древнего оледенения в горах отсутствуют, а сами они длительное время подвергаются сильнейшему выветриванию.

В Восточную Сибирь, Китай, на Дальний Восток

29 сентября в прибывшем экспрессе Петербург—Владивосток, в купе-салоне управляющего казенными железными дорогами России инженера Вурцеля по его приглашению разместились: Нансен, Востротин и Лорис-Меликов.

Главные источники благосостояния Сибири заключаются не в недрах, а в необъятных пространствах пригодной для

земледелия и местами очень плодородной земли, которая или вовсе еще не использована, или использована плохо. Очень справедливо замечено, что настоящим сибирским золотом является чернозем... (с.289).

В Западной Сибири процветает главным образом молочное хозяйство и маслоделие, в средней же — хлебопашество. В Енисейской губернии возделываются: пшеница, рожь, овес, ячмень, чечевица, конопля, гречиха и картофель, не считая кормовых трав (с.297).

В Енисейской губернии средние урожаи зерновых гораздо выше средних по Сибири, а те выше, чем по России. Здесь земля родит сам-пять, сам-шесть как рожь, так и пшеницу и овес. Из-за недостаточного удобрения земли Енисейская губерния уступает Норвегии, где для пшеницы показатель сам — 7,9, овса — сам — 8,3, а ржи — сам — 11,7. Русский народ выполняет великую задачу, заселяя и культивируя огромные земельные пространства на пользу человечеству. Так писал Нансен, пока поезд следовал между Красноярском и Иркутском.

30 сентября после Иркутска все внимание уделено Байкалу, его уникальным геолого-геоморфологическим, гидрологическим и биологическим особенностям. Железная дорога вдоль южного берега озера в скальных породах в выемках и тоннелях проложена одной колеей лишь после Русско-японской войны 1904—1905 гг. и сейчас строится вторая. На станции Мысовая Востротин и Лорис-Меликов закончили путешествие. Здесь началось Забайкалье, где, несмотря на очень холодные зимы и широкое распространение вечной мерзлоты, условия для земледелия и скотоводства вполне благоприятны.

1 октября доехали до Читы, куда в 1825 г. сослали декабристов. Здесь они строили себе тюрьмы, а их жены — дома для жилья на Дамской улице.

У станции Карымской (90 км за Читой) поезд, пройдя по мосту через р.Ингоду, направился по Восточно-Китайскому пути на юго-восток. Утром 2 октября за окном виднелась бурая волнистая степь Манчжурии. Земля во многих местах здесь черная. Слой чернозема в разрезах вдоль полотна местами достигает толщины в несколько футов.

Когда-нибудь, без сомнения, придет пора, что эти огромные степные пространства будут обработаны и заселены людьми, а пока отрадно созерцать такие нетронутые запасы земли. Все-таки, значит, есть и на нашей маленькой планете место для людей! На здешних станциях увидел я первых китайцев. Все были с косами, представительные, высокие, стройные, сильные, со здоровым и довольным выражением лиц. Невольно чувствуешь, что стоишь лицом к лицу с расой, имеющей будущее (с.313).

3 октября прибыли в Харбин. Восточнее много свежих лесных гарей из-за организуемых палов в степи. Вдоль западных склонов хребта Ся-бо-шань владивостокская фирма Скидальского имеет в местных лесах много лесотилен и вывозит древесины кедра более чем на миллион рублей в год.

4 октября прибыли во Владивосток. Впервые увидел Тихий океан. Расположенный на террасах Владивосток напоминает Неаполь. Владивосток — после падения Порт-Артура — база русской силы и влияния на Тихом океане и, может быть, в недалеком будущем он станет фокусом важных мировых событий. Поезд в Хабаровск отошел в 16 часов.

5 октября из окна видна тайга с примесью широколиственных. В 22 часа в Хабаровске на вокзале встреча с городской головой, председателем Географического общества, путешественником Арсеньевым. Ужили в ресторане.

Сыграно было несколько русских песен, затем русско-цы-

ганская, столь же заунывная, как эти бесконечные грустные равнины; потом вдруг послышались знакомые звуки — песня Сольвейг, и высоко-высоко над этой плоской страной забрезжили в голубоватой дымке скалы Норвегии... Поразительно и здесь, на Дальнем Востоке, вдруг встретиться с Григом и Ибсеном в исполнении немца и итальянца. Поистине мал шар земной! (с.336).

В Хабаровске строящийся большой железнодорожный мост через Амур имеет длину 2417 м, уступая этим лишь мосту в Эдинбурге. На берегу Амура бегло ознакомился с представителями аборигенов — гольдов. Лица у них совсем тунгусские, а одежда русская.

7 октября из Хабаровска через Амур Нансен и Вурцель переехали на пароходе и на небольшом поезде двинулись по железной дороге длиной 140 верст на запад по Средне-Амурской равнине. Для земледельческого освоения здесь требовались осушительные мелиорации. На одной из остановок посетили школу для детей железнодорожных рабочих. Детишки произвели впечатление здоровых, веселых и бойких.

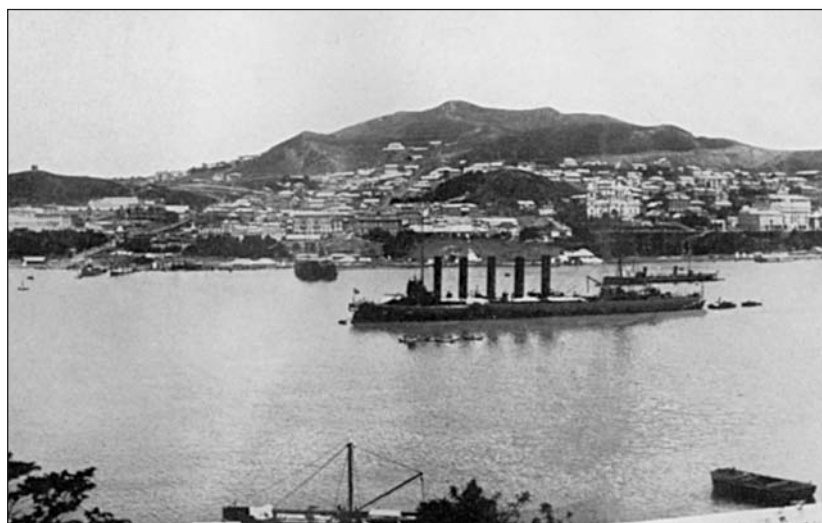
8 и 9 октября ехали на дрезине, но для пересечения отрога Малого Хингана позже пересели



Ф.Нансен и В.Е.Вурцель.

на два автомобиля. Осматривая построенный на трассе тоннель, обнаружили в нем сильное обледенение стенок. Через другой проехали на автомобиле и помчались дальше.

Колеса на дороге замерзли, но местами слегка оттаяли, и наш автомобиль швыряло из стороны в сторону или подкидывало кверху. Я с минуты на минуту ждал, что нас выбро-



Владивосток.

сит на пни, и только выбирал себе пень, за который бы уцепиться. Но все сходило благополучно (с.385).

В итоге обе машины сломались, и пришлось ехать в повозке с тройкой лошадей.

10—11 октября путь продолжился на автомобиле, но у р.Буреи это закончилось. Переплыли реку на лодке.

12 октября проехали на поезде по почти готовой железной дороге, а где путь еще не положили, — на автомобиле. Прибыли на станцию, которая была названа именем Нансена. От нее железнодорожное полотно шло без перерывов, за исключением двух-трех мостов.

13 октября достигли р.Зеи. Уехали в сторону Благовещенска и на пути к нему сели на пароход, который вывез Нансена и Вурцеля опять на главную магистраль.

14—17 октября продолжение пути на местных поездах.

18 октября из Читы прямым поездом до Екатеринбурга.

24 октября утром остановка до вечера в этом уральском городе. Вечером отъезд.

25 октября проехали Пермь, Вятку.

26 октября. Еще день, и будет Петроград.

И мне невольно становится грустно при мысли о том, что я уже простился с обширными задумчивыми лесами Сибири, с ее торжественно-строгой природой, простыми и величавыми линиями. Я полюбил эту огромную страну, раскинувшуюся виришь и вдаль, как море, от Урала до Тихого океана, с ее обширными равнинами и горами, с замерзшими берегами Ледовитого океана, пустынным привольем тундры и таинст-

венными дебрями тайги, волнистыми степями, синееющими лесистыми горами и вкрапленными в эти безграничные пространства кучками людей (с.422).

Но придет черед и для этих мест, причем особенно должны развиться здесь скотоводство и молочное хозяйство. Богатейшая страна, имеющая богатейшие перспективы! (с.242).

Но настанет время — она проснется, проявятся скрытые силы, и мы услышим новое слово и от Сибири; у нее есть свое будущее, в этом не может быть никакого сомнения (с.257).

Нансен увидел в Сибири огромный потенциал для развития, особенно в форме интенсификации агропроизводства, лесной промышленности, роста поселений. Но не все пока идет успешным в азиатской части России. ■

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
Т.С.КЛЮВИТКИНА

Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА
С.В.ЧУДОВ

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
М.В.КУТКИНА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77
Факс: (499) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 15.08.2011
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 1662
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6