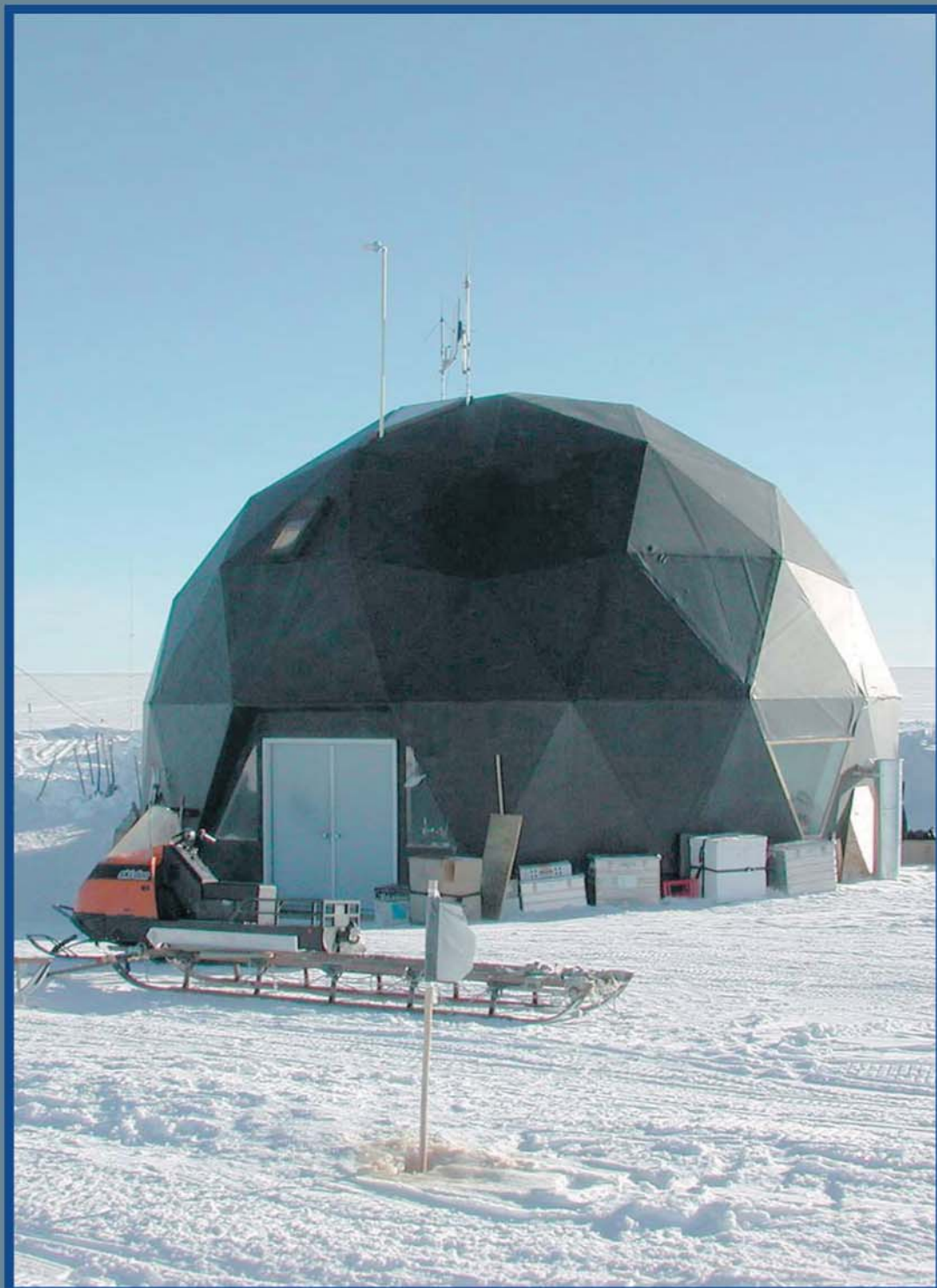


ПРИРОДА

5 03



В НОМЕРЕ:**3 Юревич А.В., Цапенко И.П.****Наука и политика**

Такой вид утечки умов, как массовый исход ученых в политику, по своей общественной значимости сопоставим с эмиграцией научных сил и переходом их в бизнес.

8 Волокитин А.И.**Радиационная передача тепла и вакуумное трение**

Если два тела разделены достаточно малым промежутком, фотоны могут туннелировать через него. Этот процесс сказывается на переносе тепла и порождает бесконтактное трение между наноструктурами, что особенно заметно в случае резонансного туннелирования.

Вести из экспедиций**18 Талалай П.Г.****Возвращение в Гренландию****24 Рабинович М.Л., Мельник М.С.****Хвостатые ферменты**

Ферменты, вырабатываемые микроскопической плесенью, способны превратить в труху даже прочную брезентовую ткань. Раскрытие механизма их действия, занявшее не один десяток лет, позволило теперь использовать их в «мирных целях» — например, при производстве стиральных порошков и «биообразовов».

Калейдоскоп**31**

Загадка огромной градины (17). Ветровая энергетика в Германии (31). «Том» и «Джерри» изучают Мировой океан (34). Памятник кошке. Толкунов Ю.А. (50). Право на ошибку (50). Космические неудачи (50). Мониторинг состояния среды спутниками серии «Spot-4» (51). Великая зеленая стена (51). Дрейф по Северному Ледовитому океану (72).

32 Кантор Ю.И.**Биологические и исторические тайны рапаны****35 Базилевская Е.С.****Феномен марганца на Земле**

Основная масса мировых ресурсов Mn сосредоточена в хемогенно-осадочных месторождениях, связанных с образованием 2500–2200 млн лет назад первого суперконтинента Пангеи-0. Сейчас эти древнейшие марганцевые руды находятся на разных континентах.

43 Журавлев А.Ю.**Невидимые миру факты, или «Говорящие» атомы и молекулы в палеонтологии****Заметки и наблюдения****52 Булавинцев В.И.****Псковская глухомань****54 Вавилин В.А., Локшина Л.Я.,
Ножевникова А.Н., Калюжный С.В.****Свалка как возбудимая среда****Резонанс****61 Якобсон К.Э., Казак А.П., Толмачева Е.В.****Туффзиты под Санкт-Петербургом****64 Сытин А.К.****Петербургский натуралист
Иоганн фон Бёбер и его коллекции****Научные сообщения****71 Басов И.А.****Карбонатные платформы
и колебания уровня океана
(194-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)****Лекторий****73 Дьяков Ю.Т.****Грибы и растения****Новости науки****79**

Связь между черными дырами и сверхновыми (79). Очередной рекорд пояса Койпера. Вибс Д.З. (79). Вулканы на Ио (80). Визуализация нейтронов. Ширшов Л.С. (81). Термометр из одной молекулы (81). Фуллерен сжимается, но в металл не превращается (82). Лазерные сети (82). Черепаха — специализированный хищник-засасыватель. Семенов Д.В. (82). Ворона изготавливает инструмент! (83). Асимметрия поворота головы при поцелуе и на портретах. Гилярова К.А. (84). Фуллерены помогут восстановить нарушения памяти? (84). Глубоководные гидротермы Полярного бассейна (85). «Медленное» землетрясение (85). Сотрясается гора Худ (86). Величайший из айсбергов (86). Сажа портит климат (87). Засуха в США (87). Нетипичный муссонный сезон (87). Когда возникло искусство? (88).
Коротко (49)

Рецензии**89 Зубрева М.Ю.****География в биографии
П.А.Кропоткина****Новые книги****93**

CONTENTS:

3 **Yurevich A.V. and Tsapenko I.P.** **Science and Politics**

The massive exodus of scientists into politics is a kind of brain drain that is comparable in social significance to emigration and moving into business.

8 **Volokitin A.I.** **Radiation Heat Transfer and Vacuum Friction**

If two bodies are separated by a sufficiently small distance, photons can tunnel through it. This process affects heat transfer and generates noncontact friction between nanostructures, which is particularly apparent in the case of resonance tunneling.

News from Expeditions

18 **Talalai P.G.** **Return to Greenland**

24 **Rabinovich M.L. and Melnik M.S.** **Tailed Ferments**

Ferments produced by microscopic mold are capable of disintegrating even a very strong canvas cloth. Elucidation of their mechanism, which has taken a few decades, allows them to be put to good use, for instance, in manufacturing washing powders and «bioabrasives».

Kaleidoscope

The Mystery of an Enormous Hailstone (17). Wind Power in Germany (31). Tom and Jerry Are Studying the Oceans (34). A Monument to a Cat. **Tolkunov Yu.A.** (50). The Right to Error (50). Space Failures (50). Monitoring the State of the Environment by Spot 4 Satellites (51). The Great Green Wall (51). Drifting through the Arctic Ocean (72).

32 **Kantor Yu.I.** **Biological and Historical Mysteries of Rapa**

35 **Bazilevskaya E.S.** **The Mn Phenomenon on the Earth**

Most of the world's manganese resources are concentrated in chemically precipitated deposits related to the formation of the first supercontinent Pangaea-0 at 2500–2200 Ma. These ancient Mn ores are now located on different continents.

43 **Zhuravlev A.Yu.** **Invisible Facts, or Speaking Atoms and Molecules in Paleontology**

Notes and Observations

52 **Bulavintsev V.I.** **The Backwoods of Pskov**

54 **Vavilin V.A., Lokshina L.Ya., Nozhevnikova A.N., and Kalyuzhny S.V.** **The Dump as an Excitable Medium**

Response

61 **Yakobson K.E., Kazak A.P., and Tolmacheva E.V.** **Tuffisites near St. Petersburg**

64 **Sytin A.K.** **The St. Petersburg Naturalist Iohann von Bäber and His Collections**

Scientific Communications

71 **Basov I.A.** **Carbonate Platforms and Sea Level Fluctuations** (194th Cruise of the JOIDES Resolution)

Lectures

73 **Dyakov Yu.T.** **Fungi and Plants**

Science News

79 **The Relationship between Black Holes and Supernovae (79). Another Record of the Kuiper Belt. Wiebe D.Z. (79). Volcanoes on Io (80). Visualization of Neutrons. Shirshov L.S. (81). A Single-Molecule Thermometer (81). Fullerene Is Compressed but Does not Turn into Metal (82). Laser Networks (82). The Turtle—A Specialized Sucking Predator. Semenov D.V. (82). The Crow Makes a Tool! (83). Asymmetry of Head Rotation during Kissing and in Portraits. Gilyarova K.A. (84). Fullerenes Will Help Recover Lost Memory? (84). Deep-Sea Hydrothermal Springs in the Arctic Ocean (85). A Slow Earthquake (85). Mount Hood Is Shaking (86). The Greatest of Icebergs (86). Soot Spoils Climate (87). Drought in the USA (87). An Atypical Monsoon Season (87). When Did Art Originate? (88). In Brief (49)**

Book Reviews

89 **Zubreva M.Yu.** **Geography in P.A.Kropotkin's Biography**

New Books

93

А.В.Юревич, И.П.Цапенко

В традиционных представлениях о взаимоотношениях науки и общества доминирующее место отводится обществу и его воздействию на науку. Обратное влияние науки на общество явно недооценивается, при этом роль ее чаще всего сводится к производству нового знания. Это сужает ее социальное значение. Функциональный анализ науки, предпринятый авторами исследования, призван преодолеть ограниченность традиционного подхода и определить реальные масштабы и направления воздействия науки на нашу жизнь. В России вторичные социальные функции науки, включающие интеллектуализацию других сфер общества, их кадровую и идейную подпитку и пр., нередко обнаруживают, например в мире политики, своеобразные и противоречивые проявления.



Юревич Андрей Владиславович, доктор психологических наук, профессор, директор Центра науковедения Института истории естествознания и техники им. С.И.Вавилова РАН. Автор монографий по проблемам науковедения, методологии и социальной психологии науки.



Цапенко Ирина Павловна, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Центра сравнительных социально-политических исследований Института мировой экономики и международных отношений РАН. Автор монографии по социальным проблемам западных стран и России.

Исход ученых в политику

Одним из самых заметных фактов в нелегкой жизни современной российской науки стал массовый исход ученых в политику. И хотя по масштабам этот вид утечки умов не может сравниться с двумя ее другими

видами — эмиграцией ученых и их переходом в бизнес, по своей значимости он вполне сопоставим с ними, оказывая большое влияние и на науку, и на политику.

Причины массовой миграции людей науки в политику достаточно очевидны. Современ-

ная Россия, где даже супружеские разводы нередко совершаются по политическим причинам, патологически политизирована, переживает настоящий культ политики и всего, что с ней связано. В этих условиях политика, где к тому же сосредоточены большие деньги, слу-

© А.В.Юревич, И.П.Цапенко

жит естественным центром притяжения для активных и честолюбивых людей. Ведь участие в ней, сопряженное с постоянным вниманием СМИ, гораздо лучший способ обрести известность, чем десяток-другой научных открытий.

Весьма способствует обращению к политике и мессианское сознание, свойственное ученым вообще, и российским интеллектуалам в особенности. Неудивительно, что многие ученые приходят в политику в качестве спасителей отечества.

Менее понятным выглядит обратный феномен — влечение к науке политиков, которые в перерывах между политическими баталиями пишут «научные» книги, читают лекции и защищают диссертации. Общий объем писательской активности политиков даже трудно представить. Она захватила многие десятки имен, включая Г.А.Зюганова, В.В.Жириновского, В.И.Илюхина, Ю.М.Лужкова, Н.М.Харитонову и многих других.

Весьма характерно для власть имущих и временное «приземление» на руководящих должностях в НИИ. Так, Е.Т.Гайдар возглавил Институт экономических проблем переходного периода, а В.Н.Хлыстун — Институт конъюнктуры аграрного рынка.

Налицо и желание политиков состоять в различных научных академиях. А.Н.Шохин и С.Ю.Глазьев, например, баллотировались в РАН, членом-корреспондентом которой еще раньше стал такой «известный математик» как Б.А.Березовский.

Но более всего сближает политиков и ученых неумная любовь к ученым степеням и званиям. С.В.Степашин имеет ученую степень доктора юридических наук, Г.А.Зюганов — доктора философских наук. И даже первый заместитель председателя правительства Москвы В.И.Ресин нашел время получить докторскую степень. В результате такой тяги к ученым степеням наша политика, несмотря на яв-

ный дефицит ее интеллектуального обеспечения, — самая «остепененная» в мире.

Подобное «братство» бедной науки и богатой политики объясняется многими причинами: и все еще сохранившимся уважением к ученым степеням, и простотой их получения (особенно для политиков), и желанием тех, кто покинул науку или никогда к ней не принадлежал, пожизненно считаться ученым, и намерением закрепить за собой устойчивый социальный статус, независимый от политической конъюнктуры. Но, наверное, главная причина повышенного интереса политиков к ученым степеням состоит в том, что они символизируют принадлежность к науке, превращают политика в эксперта и дают ему возможность выступать от ее имени, формулируя свое личное мнение как мнение компетентного специалиста.

Так или иначе взаимодействие между сообществами ученых и политиков выглядит как циркуляция кадров. И все же это братство далеко не равных. Поэтому политика для ученых куда более притягательна, чем наука для политиков, и отток кадров из науки в политику куда интенсивнее обратного движения.

«Мозги» и власть

Поскольку желающих сменить перо на шапку Мономаха намного больше, чем подобных шапок, ученые чаще выступают не в образе политиков, а в качестве советников, консультантов и аналитиков при них. Бывший государственный секретарь США Г.Киссинджер писал: «Интеллектуала крайне редко можно встретить на высшем уровне принятия решений. Обычно его роль — консультативная». Ш.де Голль однажды выразился так: «Политику нет нужды обладать умом Спинозы, его «ум» — это его советники и аналитики». Отсюда — обростание высшей исполнительной власти обслу-

живающим экспертным аппаратом, а также сходные процессы, которые происходят и за пределами институтов государственной власти — в крупных партиях, профсоюзах и других общественных организациях.

Разумеется, политики стремятся подобрать себе советников и аналитиков из числа наиболее одаренных. В странах, обладающих развитой политической культурой и информационной инфраструктурой, это не составляет труда, поскольку регулярно издаются сборники «Кто есть кто» (в науке), содержащие исчерпывающую информацию о ее лучших представителях; ученые, прославившиеся в науке, достаточно известны и в обществе — вследствие того, что образованные слои проявляют к ней достаточный интерес, и т.д. На базе всего этого складывается отточенный механизм приближения «мозгов» к власти, который, совершенствуясь десятилетиями, служит одним из опорных элементов интеллектуального обеспечения политики.

Списки интеллектуалов, состоящих консультантами и аналитиками при президентах западных стран, нередко пестрят нобелевскими лауреатами. И эта традиция может быть прослежена с достаточно давних времен. Так, Т.Рузвельт, хотя и, по свидетельству его биографа Р.Моли, ни разу не держал в руках ни одной серьезной книги, тем не менее рекрутировал в качестве советников профессию, отдавая предпочтение наиболее известным ученым. На университетскую профессию опирался в работе своей политики и А.Пиночет, чем во многом объясняются его политические и экономические успехи.

Совсем иначе обстоит дело у нас. Отработанный, да и вообще сколь-либо разумный механизм приближения «мозгов» к власти отсутствует, сборники типа «Кто есть кто» если и издаются, то не читаются ни самими политиками, ни их окружением,

а обрести в нашем обществе известность ученый может, лишь став крупным бизнесменом или тем же политиком. Исследования показывают, что перспективы приближения ученых к власти у нас определяются четырьмя основными факторами. Во-первых, известностью, полученной в результате не научных заслуг, а регулярных выступлений в средствах массовой информации. Во-вторых, лояльностью к политикам. В-третьих, пробивными способностями самих интеллектуалов — умением привлечь внимание, протолкаться поближе к власти и проявить те способности, которыми обладал персонаж известной книги «Закон Паркинсона» мистер Пролез. И в-четвертых, умением оказаться в нужное время в нужном месте, предполагающим особый «нюх» на то, что, где и когда нужно сделать, чтобы власть имущие тебя заприметили. В результате типовой ученый, консультирующий наших политиков, — это выходец из «среднего» слоя научного сообщества, активный кандидат наук, не снискавший особых лавров в науке, но преуспевший в саморекламе и сблизившийся со СМИ.

Особенности «видимых» интеллектуалов

В силу описанной специфики отечественного механизма приближения «мозгов» к власти наши политики, стремясь подыскать себе наилучших, на деле находят наиболее известных, наиболее «видимых» интеллектуалов, что, естественно, сказывается на типовых качествах ученых, приобщающихся к политике.

Считается, что в политике достигают успеха преимущественно те, чей интеллектуальный уровень выше среднего, но не намного, поскольку люди со слишком высоким интеллектом воспринимаются массами как

чужие и непонятные. По таким объективным показателям научной продуктивности, как цитатиндекс и количество публикаций, ученые, уходящие в политику и в бизнес, в четыре-пять раз уступают своим коллегам, остающимся в науке, а работы 70% подобных экс-ученых вообще никем и никогда не цитировались. В общем факты говорят о том, что из науки уходят в основном те, кто в ней ничего существенного не добился, конечно, не только вследствие недостатка мотивации, но и ввиду отсутствия необходимых для этого интеллектуальных дарований.

Дело, разумеется, не только в интеллектуальных дарованиях. Исследования показывают, что ученые — это люди весьма специфического эмоционального склада, испытывающие повышенную потребность в спокойствии и безопасности и поэтому стремящиеся избегать тех нервных и неопределенных ситуаций, которые характерны для политики. Но, разумеется, наиболее часто акцентируются различия в моральных качествах ученых и политиков. «Кто отдается политике, тому трудно сохранить себя от притупления чувства истины и справедливости. Людей с высшими стремлениями и тоньше чувствующих партийная жизнь отталкивает, и они вообще отстраняются от общественной жизни», — утверждал в начале века, когда политика еще не считалась грязным делом, Б.Паульсен. Едва ли есть смысл доказывать, что наука требует объективности, а политика — это служение партийным интересам, и по большому счету лишь небезызвестная «партийная» наука совместима с политикой. В результате неудивительно, что выходцам из науки, ушедшим в политику, иногда даются весьма жесткие характеристики.

Следует также отметить, что ученые, оказавшиеся во властных и окол властных структурах, весьма безжалостно обра-

щаются со своими бывшими коллегами. Так, например, в Государственной Думе многие обладатели ученых степеней регулярно голосуют против увеличения расходов на науку, а экс-ученые, оказавшиеся в органах исполнительной власти, урезают расходы на нее еще более решительно. Подобное поведение, по-видимому, обусловлено не только традиционной разобщенностью российской интеллигенции, но и тем, что посредственные ученые, проникшие во власть, часто «имеют зуб» на своих более талантливых коллег. Честолюбивые люди обычно не прощают таких обид и, оказавшись на высоких постах, сознательно или неосознанно мстят науке за то, чего в ней не добились.

Перечисленные обстоятельства, конечно, не позволяют утверждать, что в политику идут наиболее аморальные или «не настоящие» ученые, но дают основания предполагать, что утечку умов из науки в политику можно рассматривать как «отжимание» из отечественной науки чуждого материала, искусственно сосредоточенного в ней в советские годы.

Динамика архетипа

Американский политолог З.Бауман разделил интеллектуалов, участвующих в политической деятельности, на два типа — «ученых-законодателей» и «ученых-переводчиков», подчеркнув, что если функция первых состоит в разработке моделей общественного устройства, то вторых — в том, чтобы облегчать взаимодействие между участниками политической жизни. Х.Дженкинс-Смит выделил три варианта участия ученых в политическом процессе, описав «объективных техников», реализующих социально-политические технологии, «адвокатов идеи», разрабатывающих и отстаивающих политические доктрины, и «адвокатов клиента»,

защищающих интересы определенных личностей или политических групп. Нетрудно заметить, что подобные систематизации близки друг к другу, а соответствующие типы ученых — тому, что в нашей публицистике именуется «идеологами», «реформаторами» и «обслуживающими».

Надо отметить, что всегда достаточно выражена и динамика востребованного общественно-политической жизнью типа интеллектуала, в результате чего на ее поверхность последовательно всплывают сменяющие друг друга типы. Время всегда лепит из достаточно пластичного интеллектуального материала тот тип политически активного интеллектуала, который наиболее востребован в данный момент. По этой причине, хотя спрос на интеллектуалов в качестве, скажем, идеологов существовал всегда, он возрастал в переходные, революционные эпохи, требовавшие новых «измов». В результате интеллектуалы, которые в иные времена нашли бы себя в чем-то другом, в периоды значительных социальных изменений становились идеологами.

В современной России наиболее известными представителями этого типа ученых явились так называемые архитекторы перестройки — А.Н.Яковлев, Н.П.Шмелев, О.Р.Лацис, В.И.Селюнин и другие, разрабатывавшие идеологию наших реформ и в их идейной подготовке сыгравшие роль, которую без особого преувеличения можно сравнить с ролью французских просветителей в подготовке Французской революции. В отличие от последующих поколений ученых, хлынувших в политику, это были высокостатусные представители научного сообщества. Объектом их воздействия служило массовое сознание в целом, а средством — публицистические статьи в толстых журналах, в результате чего их просветительская деятельность обычно обозначается как «докторская публицистика».

В дальнейшем на первый план вышел другой тип ученых — «реформаторы», которые, подчас действуя и как идеологи, отличались от «архитекторов перестройки» тем, что сами свои идеологемы и реализовывали. «Реформаторы» в отличие от своих предшественников были сравнительно молоды (в результате чего наши СМИ окрестили их «младореформаторами»), имели в основном не докторские, а кандидатские ученые степени, и оттеснение ими «архитекторов перестройки» выглядело как «революция кандидатов», которые также не имели высокого статуса и известности в науке, что создавало впечатление, будто они пришли «ниоткуда». Но это, естественно, иллюзия. Не обретя известности в науке, они перед началом реформ закрепились в «предполитических кругах» (Е.Т.Гайдар, например, был заместителем главного редактора журнала «Коммунист», А.Б.Чубайс — первым заместителем председателя Ленгорисполкома) и именно оттуда совершили свой прыжок в большую политику.

В отличие от «архитекторов», которые слывут «демократами-идеалистами», «реформаторы» обычно характеризуются как «демократы-прагматики». Объектом их воздействия было не массовое сознание в целом, а власть имущие, средством же — личные контакты с ними, что стало большим преимуществом «реформаторов», ведь личный доступ к лицам, принимающим решения, считается наиболее быстродействующей из всех возможных для ученого форм влияния.

Сочетая роль советников при политиках с ролью самостоятельных политиков, «реформаторы», при всей своей самодостаточности, сами все же оказались нуждающимися во внешнем интеллектуальном обеспечении своих действий. В результате с начала 90-х годов в системе взаимоотношения науки и политики помимо стреми-

тельного размножения интеллектуалов, специализирующихся в обслуживании политиков (имиджмейкеров и т.п.), можно было наблюдать и еще одно пространное явление, охарактеризованное В.Б.Филатовым как «лихорадочное основание всевозможных социологических и политологических, экономических и стратегических центров, явно настроенных на обслуживание тех или иных структур власти, предпринимательства, общественных организаций». Поэтому новый тип ученых, чья дорога в политику пролегла через такие центры, можно назвать «обслуживающими». А их «настроенность на обслуживание» обратилась не на решение научно-исследовательских задач, а на выполнение заказов, в том числе и поступавших от «реформаторов», в результате чего эти две категории выходцев из науки органически дополняли друг друга.

Создание подобных центров открывало ряд возможностей. Во-первых, давало возможность неизменным ученым резко повысить свой статус, учреждая новые центры с собою в роли их директоров. Во-вторых, создавало возможности выгодной переквалификации, благодаря которой многие специалисты, скажем инженеры, не имевшие каких-либо профессиональных перспектив, сумели превратиться в социологов или политологов, что было несложно, ведь, как справедливо отмечает Г.В.Осипов, «сейчас каждый, кто составил опросный лист или провел интервью, без зазрения совести называет себя социологом, более того, считает возможным выдвигать и отстаивать различные проекты преобразования российского общества». В-третьих, открывало возможности приобретения известности, доступа к большой политике, СМИ и источникам финансирования.

Предпосылкой разрастания сети «обслуживающих» центров, каждый из которых считается «независимым» (не очень ясно,

от кого именно), явилась также предельная либерализация статусной структуры нашего общества: любой гражданин России — независимо от квалификации и уровня образования — сейчас имеет возможность создать собственный исследовательский центр или даже учредить академию.

«Независимые» исследовательские центры довольно быстро оформились в самостоятельную систему влияния на власть. Их преимущества перед нашими традиционными НИИ состояли в компактности, мобильности, хорошей организации «обслуживания», приспособленности к решению задач, которые ставят власть имущие, и склонности к тому, что Дж.Равец называет «научным антрепренерством», предполагающим способность проводить быстро осуществляемые и низкокачественные исследования, браться за любые задачи, если это сулит материальные выгоды, действовать в угоду властям предрержащим и т.д. Иллюстрацией данного стиля работы может служить социолог, который, получив предложение провести социологическое исследование, спросил заказчика: «А как вам подсчитать результаты — в чью пользу?»

В силу описанных выше особенностей «независимая» наука быстро оттеснила нашу официальную от умов и кошельков новой элиты. Правда, отечественные НИИ, некогда состоявшие в близких и прочных связях с властью имущими, по-прежнему пишут им докладные записки — в основном по инерции. Так, на-

пример, институты РАН за последние годы направили во властные структуры две тысячи (!) всевозможных докладов и аналитических записок. Однако, как было отмечено на одном из Общих собраний РАН, «большая часть этих документов ложится под сукно» — в отличие от рекомендаций «обслуживающих» интеллектуалов.

В результате у нас произошла заметная трансформация механизма взаимодействия науки и власти, который в советские годы со стороны власти выглядел централизованным, а со стороны науки — кумулятивным и был организован в виде своеобразной воронки. Рядовые сотрудники НИИ писали — «по заданию вышестоящих органов» — многочисленные предложения о том, как что-либо «ускорить», «улучшить», «перестроить» и т.д., которые сначала сливались воедино на уровне секторов, затем — на уровне отделов, потом — институтов и таким образом вырастали до единых и централизованных документов, представлявших собой коллективные плоды индивидуального творчества. Естественно, при такой организации дела продукт не всегда доходил до адресата или игнорировался им. Но достигалось главное — кумулятивность процесса: практически любой ученый-обществовед участвовал в разработке направляемых власти документов.

Однако с начала 90-х годов практически вся официальная наука оказалась отстраненной от влияния на власть. Тем не менее было бы большой ошибкой

недооценивать влияние науки на нашу власть и на все наше общество. Именно в недрах науки рождаются те идеологемы и идеологии, которые перелопачивают всю его жизнь: достаточно вспомнить марксизм или, если не уходить так далеко в историю, монетаризм. Эта роль науки и соответствующая форма ее влияния на общество ничуть не менее важны, чем другие ее социальные функции, а тем более обслуживание политиков. Т.е. без всякой метафоричности сегодняшний день нашей науки, хотя, разумеется, не всякий — это завтрашний день нашего общества, а вынашиваемые ею сегодня идеи — это завтрашние массовые политические действия.

Достаточно просто заглянуть в любой номер любого, скажем, политологического журнала, чтобы убедиться, что у нас почти созрела новая идеология, опорными точками которой служат необходимость ограничения слишком буйной российской демократии, неприятие глобализации и т.п. В России есть серьезные основания ожидать, что по прошествии некоторого времени эти идеи либо воплотятся в жизнь, либо, как минимум, приведут к заметным сдвигам общественного сознания. И именно из вроде бы забытой обществом науки уже начинается очередной крутой вираж нашей политики. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 02-06-99510.

Литература

1. *Осинов Г.В.* // Вестн. РАН. 1997. №6. С.502—507.
2. *Ушакин С.А.* // Полис. 1998. №1. С.8—20.
3. *Филатов В.* // Обществ. науки и современность. 1993. №4. С.89—96.
4. *Юревич А.В., Цапенко И.П.* Нужны ли ученые России? М., 2001.
5. *Юревич А.В.* // Науковедение. 1999. №4. С.74—88.
6. *Bauman Z.* Legislators and interpreters. N.Y., 1987.
7. *Jenkins-Smith H.S.* Democratic politics and policy analysis. California, 1990.
8. *Merton R.* The sociology of science: Theoretical and empirical investigations. Chicago, 1973.
9. *The handbook of political behavior.* N.Y., 1981. V.1.
10. *Ravetz J.* Scientific knowledge and its social problems. Oxford, 1971.

Радиационная передача тепла и вакуумное трение

А.И.Волокитин

Тепловым излучением тел физики занимаются достаточно давно. Как известно, парадоксы, которые возникли при описании излучения в рамках классической физики, стали толчком к созданию квантовой механики, недавно отметившей свое 100-летие. Казалось бы, на все вопросы уже найдены ответы. Однако и в такой вполне традиционной области есть свои белые пятна.



Александр Иванович Волокитин, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики Самарского государственного технического университета. Область научных интересов — физика наноструктур, нанотрибология, зондовая сканирующая микроскопия.

Как передается тепло?

Каждый студент, прослушавший общий курс физики, знает закон Стефана—Больцмана, согласно которому поток энергии, излучаемой абсолютно черным телом с температурой T , определяется формулой

$$S_{\text{вв}} = \frac{\pi^2 k_{\text{в}}^4}{60 \hbar^3 c^2} T^4, \quad (1)$$

где $k_{\text{в}}$ — постоянная Больцмана, \hbar — постоянная Планка и c — скорость света в вакууме. В соответствии с этим законом два черных тела с параллельными поверхностями (рис.1) будут обмениваться теплом независимо от расстояния d между ними. Можно сказать, что вакуум имеет тепловую проводимость.

Этот процесс связан с бегущими электромагнитными волнами, которые излучаются нагретым телом за счет тепловых флуктуаций плотности тока внутри любого поглощающего вещества. Но порождаемое последними флуктуирующее электромагнитное поле простирается за границы тела не только в форме бегущих, однородных волн, излучаемых телом (волновое поле), но и частично в форме неоднородных волн (ближнее поле). Это поле экспоненциально затухает при удалении от поверхности и не исчезает даже при абсолютном нуле температуры (тогда оно связано с нулевыми колебаниями). Для изолированного тела неоднородные волны не дают вклада в тепловое излучение и поток

тепловой энергии действительно определяется законом Стефана—Больцмана (1). Однако, если поверхности двух тел находятся на достаточно близком расстоянии друг от друга, возможна зависящая от расстояния d передача тепла за счет неоднородных волн. По аналогии с туннелированием электронов через слой диэлектрика этот процесс передачи тепла можно рассматривать как связанный с туннелированием фотонов, соответствующих неоднородным волнам, через вакуумный промежуток. Бегущие электромагнитные волны частоты ω имеют параллельную поверхности компоненту волнового вектора $q < \omega/c$, а для неоднородных волн $q > \omega/c$. Перпендикулярная поверхности компонен-

та волнового вектора, которая в вакуумной области задается формулой

$$q_z = \sqrt{\left(\frac{\omega}{c}\right)^2 - q^2}, \quad (2)$$

для неоднородных волн будет чисто мнимой, что означает затухание этих волн при удалении от поверхности. Для бегущих волн основной вклад в передачу тепла вносят фотонные состояния, которые в фазовом пространстве расположены внутри круга с $q < k_B T / \hbar c$, а для неоднородных волн, с учетом их экспоненциального затухания, — состояния с $q < d^{-1}$. Отсюда ясно, что число фотонных состояний, соответствующих неоднородным волнам, может быть значительно больше числа фотонных состояний, соответствующих бегущим волнам, при

$$d < \lambda_w = \frac{\hbar c}{k_B T}. \quad (3)$$

Тогда поток тепла будет в основном переноситься неоднородными волнами. При расстояниях в несколько нанометров радиационный тепловой поток почти полностью определяется неоднородными волнами. А при низких температурах этот вид переноса тепла будет доминировать даже для расстояний в несколько миллиметров (см. табл.).

Туннелирование фотонов оказывается важным в ситуациях, когда поверхности разделены малым вакуумным промежутком. К примеру, если две поверхности плотно прижаты друг

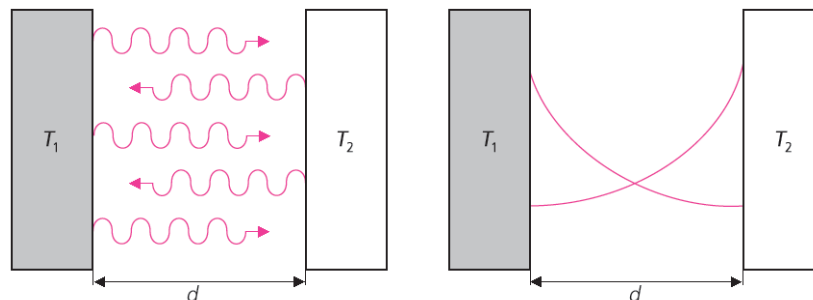


Рис. 1. Способы обмена теплом между поверхностями, разделенными вакуумной щелью. Их существует два: обычная радиационная передача тепла (слева) и туннелирование фотонов (справа). Последний способ доминирует при малых расстояниях.

к другу, но между ними есть маленькие частицы, можно ожидать, что тепловая проводимость будет осуществляться за счет туннелирования фотонов. Аналогичная ситуация возникает и в наноскопических структурах, используемых в электронных устройствах, и в зондовых сканирующих микроскопах, когда характерные размеры не больше нескольких нанометров. Итак, для объектов, которые находятся на очень малом расстоянии друг от друга, формула (1) для излучения абсолютно черного тела неприменима при расчете теплового переноса.

Фотонное туннелирование между двумя гладкими поверхностями рассматривалось около 30 лет назад Д.Полдэром и М.Ван Ховом [1]. Авторы ограничились случаем передачи тепла между двумя гладкими металлическими поверхностями, разделенными вакуумной щелью, и расчеты производились с использованием приближения, которое справедливо только при больших расстояниях между телами. Ту же самую задачу для случая хороших проводников, но в ином приближении решали позднее М.Л.Левин, В.Г.Полевой и С.М.Рытов [2]. Со времени пионерской работы [1] были выполнены эксперименты с наноструктурами, что помогло осознать важность фотонного туннелирования, причем в условиях с принципиально другой геометрией. Сей-

час стало возможным измерять чрезвычайно малую передачу тепла в малый объем. Недавно Дж.Пендри [3] дал более простое по сравнению с [1] решение задачи о теплообмене между двумя гладкими поверхностями и приближенно проанализировал радиационную передачу тепла между сферой и гладкой поверхностью для случая, когда радиус сферы много меньше расстояния от сферы до поверхности. Однако в эксперименте обычно реализуется обратная ситуация. Кроме того, Пендри рассматривал вклад в трение только за счет статического поля и не учитывал вклада за счет индукционного поля.

Проблема передачи тепла тесно связана с проблемой вакуумного трения между наноструктурами. Недавно несколько групп с помощью атомного силового микроскопа в условиях сверхвысокого вакуума наблюдали дальнедействующий эффект бесконтактного трения [4, 5]. Он оказался неожиданно большим. При расстояниях между зондом и образцом в 100 Å регистрировали фрикционное напряжение между ними порядка 10^3 Н/м² при скорости относительного движения $v = 1$ м/с. При бесконтактном трении тела отделены друг от друга достаточно широким потенциальным барьером, препятствующим туннелированию через него электронов или других частиц с конеч-

Таблица

Критическое расстояние, при котором в передаче тепла доминируют неоднородные волны.

T (К)	λ_w (мкм)
1	2289.8
4.2	545.2
100	22.9
273	8.4
1000	2.3

ной массой покоя. Поэтому единственным механизмом вакуумного трения остается туннелирование фотонов через вакуумный промежуток. Когда одно тело испускает фотоны, а другое их поглощает и тела находятся в относительном движении, между ними возникает сила трения, связанная с переносом импульса посредством обмена фотонами.

Хотя нет сомнений, что вакуумное трение имеет электромагнитную природу, детали этого механизма пока не изучены достаточно подробно. В частности, непонятна большая величина этого эффекта [6, 7]. Электромагнитное поле, которое всегда присутствует в вакуумном промежутке между телами, может создаваться либо за счет тепловых и квантовых флуктуаций электронной плотности внутри тел (трение Ван-дер-Ваальса), либо за счет контактной разности потенциала между телами (электростатическое трение). В настоящее время неясно, какое из полей дает основной вклад в эффект. Поэтому исключительно важно разработать полную теорию бесконтактного трения, так как оно имеет принципиальное значение для многих экспериментов по сверхчувствительной регистрации сил. Например, регистрация отдельных спинов с помощью магнитно-резонансной силовой микроскопии, которая была предложена для получения трехмерного изображения атома и создания квантового компьютера, потребует уменьшения флуктуирующих сил до беспрецедентного уровня. Эффектами бесконтактного трения могут быть в конечном итоге ограничены поиски квантовых гравитационных эффектов при малых пространственных масштабах. Эта проблема тесно связана с разработкой физических основ зондовой сканирующей микроскопии (сканирующий тепловой и туннельный микроскоп, атомно-силовой микроскоп, оптический микроскоп ближнего поля

и др.) для диагностики и модификации поверхности твердых тел и биологических объектов.

На основе динамической модификации известной теории Е.М.Лифшица [8] для консервативного взаимодействия Ван-дер-Ваальса нам удалось создать теорию трения Ван-дер-Ваальса. Новая теория [6, 7, 9] позволяет рассчитывать радиационную передачу тепла и вакуумное трение между микроскопическими и наноскопическими телами любой формы с произвольными диэлектрическими свойствами. Полученные замкнутые аналитические формулы могут использоваться при анализе взаимодействия между иглой зондового микроскопа и поверхностью твердого тела.

Где передача тепла больше?

Как следует из закона Кирхгофа, радиационный поток тепла за счет бегущих волн максимален для абсолютно черного тела. Чтобы ответить на вопрос, для какого материала будет максимальным поток за счет неоднородных волн, рассмотрим

сначала прозрачный диэлектрик типа стекла. Как видно из формулы (1), внутри диэлектрика излучение черного тела имеет большую плотность, чем в вакууме: если скорость света уменьшается, плотность излучения увеличивается. Добавочное излучение переносится волнами, которые имеют параллельную поверхности компоненту волнового вектора, лежащую в интервале $\omega/c < q < \sqrt{\epsilon}\omega/c$, где ϵ — диэлектрическая проницаемость диэлектрика. Так как параллельная компонента волнового вектора сохраняется на гладкой границе диэлектрика, эти волны не могут проникнуть в вакуум и испытывают полное внутреннее отражение (рис.2). Поверхность отражает как раз нужное количество излучения, чтобы излучение черного тела, проникающее в вакуум, не превышало величины, определяемой формулой (1). Хорошо известно: если второй диэлектрик поместить на достаточно близком расстоянии от первого, условие для полного внутреннего отражения нарушится, так как часть фотонов будет теперь туннелировать через вакуумный промежуток во вторую среду.

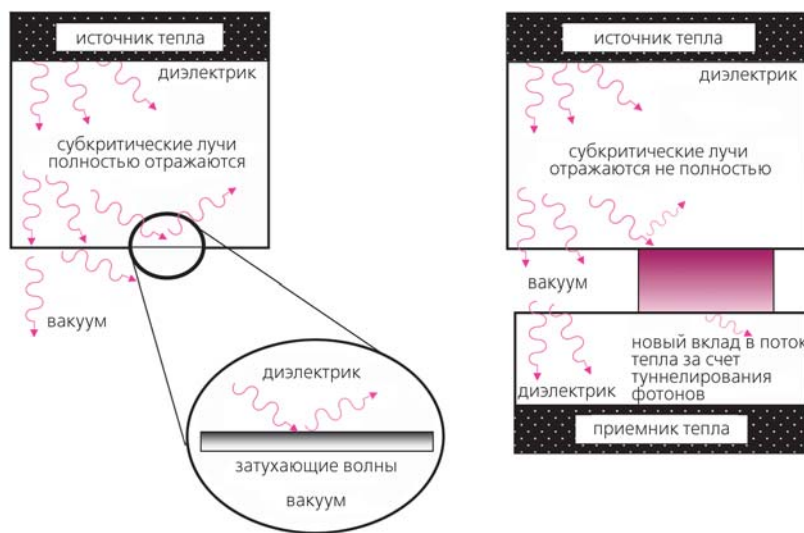


Рис.2. Потеря тепла нагретым диэлектриком в вакууме. Неоднородные волны не дают вклада в потерю тепла изолированным телом (слева). Однако они могут переносить тепло между нагретой и холодной поверхностями (справа).

Можно сказать, что каждое значение параллельной компоненты волнового вектора соответствует каналу, через который осуществляется перенос тепла. Чем больше каналов, тем больше поток тепла. Вещество, обеспечивающее максимальный поток тепла, должно иметь наибольшее их число. Если можно активировать волны с большим значением волнового вектора и потребовать, чтобы расстояние, на которое они передают тепло, было очень малым, не имеет значения, что эти волны затухают экспоненциально. У прозрачных диэлектриков основной вклад в перенос тепла дают каналы с $q < \sqrt{\epsilon} \lambda_w^{-1}$, что при комнатной температуре соответствует $q < 10^{5\sqrt{\epsilon}} \text{ нм}^{-1}$. Однако гораздо больший эффект следует ожидать у проводников. В проводниках флуктуации электронной плотности могут приводить к электромагнитному полю с высокой спектральной плотностью (одно из его проявлений — электрические шумы в проводниках). Так как электроны там могут обладать очень большим волновым вектором, возможны флуктуации электронной плотности с очень малой длиной волны (порядка межатомного расстояния), и такая же малая длина окажется у электромагнитных флуктуаций. В итоге способны активироваться каналы с $q < d^{-1}$, что для расстояний порядка нескольких нанометров будет значительно больше значений волнового вектора, активирующихся для диэлектриков.

Поток тепла зависит не только от числа задействованных каналов, но и от вероятности туннелирования фотонов. В случае переноса тепла между абсолютно черными телами вероятность прохождения через вакуумный промежуток фотонов, соответствующих бегущим волнам, равна единице. Перенос тепла посредством туннелирования фотонов будет так же максимален при вероятности туннелирования, равной единице для всех возможных q (точный

анализ показывает, что максимальное значение для коэффициента прохождения равно 1/4). Это дает оценку сверху для потока тепла:

$$S_{\max} = \sum_q \frac{\pi}{3} \frac{(k_B T)^2}{\hbar}, \quad (4)$$

где суммирование идет по всем возможным каналам переноса тепла, обеспечивающим максимум потока. Ограничение при суммировании возникает за счет свойств конкретного материала. В частности, если предположить, что волновое число q ограничено максимальным значением $q_{\max} < 1/a$, где a — межатомное расстояние (такое возможно в случае резонансного туннелирования, см. ниже), то число каналов на единицу площади будет порядка 10^{19} м^{-2} . В этом случае максимальный тепловой поток при комнатной температуре составит порядка $10^{11} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$. Если в качестве материалов использовать проводники, имеющие постоянную проводимость в широком интервале частот и волновых векторов, можно подобрать такую проводимость, которая обеспечивала бы максимум вероятности туннелирования для наиболее важных значений ω и q . При $\omega \approx k_B T / \hbar$ и $q \approx d^{-1}$ этот максимум достигается, когда

$$\sigma_{\max} \approx \frac{k_B T \epsilon_0}{\hbar}. \quad (5)$$

При комнатной температуре оптимальная электрическая проводимость σ_{\max} равна $300 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$, или, что то же самое, удельное сопротивление $\rho \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Что дают эти теоретические построения для практики — увидим на конкретных примерах.

Поверхность нагревается иглой

Как известно, в зондовом микроскопе вдоль поверхности скользит чрезвычайно острая игла с радиусом кривизны по-

рядка нескольких нанометров, и это позволяет определять структуру поверхности с атомарным разрешением. В последние годы большое значение придается использованию таких микроскопов не только для визуализации поверхности, но и для ее модификации. С помощью сканирующего туннельного микроскопа оказалось возможным захватывать адсорбированные на поверхности атомы, переносить их в другое место и таким образом создавать необходимые поверхностные структуры. Пусть игла скользит над холодной поверхностью. Если поток тепла между иглой и поверхностью достаточно большой, есть шанс нагреть последнюю до температуры, близкой к температуре иглы, что может привести к локальной десорбции или декомпозиции адсорбированной молекулы. Тепло переносится здесь за счет туннельного механизма, подобно электронам, ответственным за работу туннельного микроскопа, и подобно туннельному току тепловой поток ограничен площадью поверхности непосредственно под иглой (рис.3). Получаем сильно локализованный источник тепла, который значительно более сфокусиро-

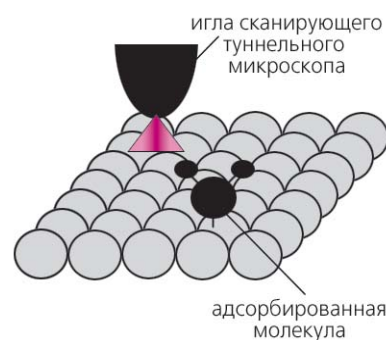


Рис.3. Игла сканирующего туннельного микроскопа над поверхностью. Локальный нагрев может привести к десорбции молекулы. Наконечник микроскопа изображен окруженным локализованными, туннелирующими электромагнитными волнами.

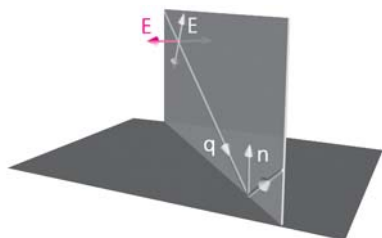


Рис. 4. Варианты поляризации электромагнитной волны с волновым вектором \mathbf{q} , падающей на поверхность с нормалью \mathbf{n} . У p -поляризованной волны вектор напряженности электрического поля \mathbf{E} колеблется в плоскости падения, у s -поляризованной — перпендикулярно ей (показано цветом).

ван, чем в случае свободного теплового излучения, проходящего через систему линз. Так можно использовать микроскоп для локального контроля химического состава поверхности, а затем наблюдать эти изменения в ходе последующих сканирований.

Для количественной оценки переноса тепла между наконечником микроскопа и поверхностью рассмотрим сначала перенос тепла между гладкими, параллельными друг другу поверхностями, когда возможно точное решение задачи [1–3, 9]. В этом случае поток тепла можно представить в виде суммы вкладов от p - и s -поляризованных волн. Для p -поляризованных волн вектор напряженности электрического поля лежит в плоскости падения, определяемой нормалью к поверхности и волновым вектором \mathbf{q} , а для s -поляризованных волн вектор напряженности электрического поля перпендикулярен плоскости падения (рис. 4). В ближней зоне p -поляризованные волны определяются кулоновским, статическим, полем, порожденным флуктуациями электронной плотности в веществе, а s -поляризованные волны имеют индукционную природу. Они создаются за счет флуктуаций

плотности электрического тока без изменения электронной плотности. В ближней зоне флуктуирующее магнитное поле, создаваемое флуктуирующей плотностью тока, определяется законом Био—Савара. В свою очередь переменное магнитное поле порождает переменное электрическое поле из-за эффекта электромагнитной индукции. При $d < \lambda_w(\epsilon_0 k_B T / \sigma)^{3/2}$ и $\epsilon_0 k_B T / \sigma < 1$ вклад в перенос тепла p -поляризованными волнами определяется формулой

$$S_p = \frac{\pi^2 (k_B T)^2}{15 \hbar d^2} \left(\frac{\epsilon_0 k_B T}{\hbar \sigma} \right)^2, \quad (6)$$

а s -поляризованные волны при $d < \lambda_w(\epsilon_0 k_B T / \sigma)^{1/2}$ и $\epsilon_0 k_B T / \sigma < 1$ дают вклад, не зависящий от расстояния d :

$$S_s = \frac{(k_B T)^3 \sigma}{\pi^2 \epsilon_0 \hbar^2 c^2}. \quad (7)$$

Результаты расчетов радиационной передачи тепла между двумя пластинами, одна из которых находится при температуре $T = 273$ К, а другая — при $T = 0$ К, в зависимости от расстояния d приведены на рис. 5 для различных значений удельного сопротивления материала. Вклады в передачу тепла за счет p - и s -поляризованных волн показаны отдельно. Интересно, что вклад от s -поляризованных волн доминирует даже для очень коротких расстояний $d > 10$ – 20 Å. С увеличением удельного сопротивления вклад в передачу тепла за счет s -поляризованных волн уменьшается, а относительный вклад p -поляризованных волн возрастает. Причем абсолютный вклад p -поляризованных волн увеличивается с ростом удельного сопротивления, как $\rho^{1/2}$ для хороших проводников ($\rho < 10^{-5}$ Ом·м), и как ρ^2 для плохих проводников. Это связано с тем, что у хороших проводников, имеющих большую подвижность электронов, флуктуации электронной плотности эффективно экранируются электронами проводимости, поэто-

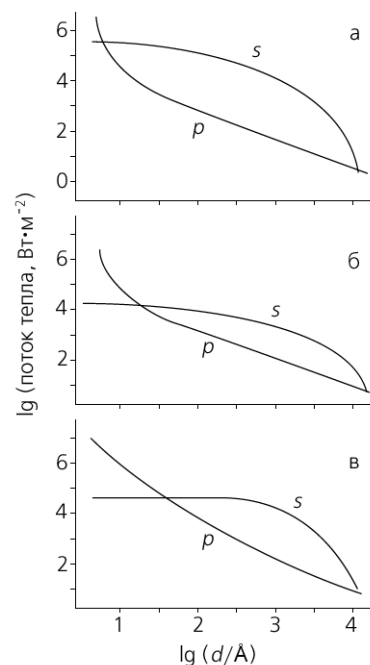


Рис. 5. Поток тепла между двумя параллельными проводящими пластинами в зависимости от расстояния между ними (одна из пластин находится при $T = 273$ К, а другая — при $T = 0$ К). На рис. (б) и (в) удельное сопротивление материала больше соответственно в 28 и 165 раза, чем на рис. (а).

му создаваемое ими электрическое поле оказывается сильно ослабленным по сравнению с плохими проводниками, имеющими низкую подвижность электронов. С другой стороны, флуктуации плотности электрического тока без изменения электронной плотности возрастают с увеличением удельной проводимости, и для них нет эффекта экранирования.

На рис. 6 показан тепловой поток в зависимости от удельного сопротивления материалов для $d = 10$ Å при той же комнатной температуре. Как видим, тепловой поток имеет максимум при $\rho \approx 4 \cdot 10^{-3}$ Ом·м, соответствующем проводимости $\sigma = 250$ (Ом·м) $^{-1}$, что хорошо согласуется с теоретической оценкой (5). Проводимости такого порядка наблюдаются в полуметаллах типа угле-

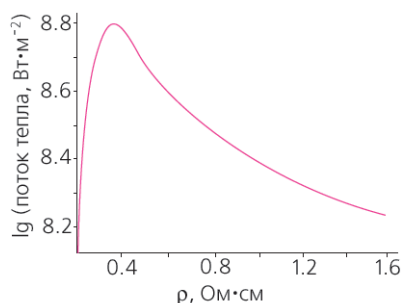


Рис.6. Тепловой поток в зависимости от удельного сопротивления проводников при тех же температурах пластин, что и на рис.5. Расстояние между поверхностями проводников $d = 10 \text{ \AA}$.

рода или композиционных материалах из металла и диэлектрика. Фактически требуется только тонкое покрытие из вещества с нужной проводимостью, и это покрытие могут обеспечить адсорбаты из газовой фазы. При оптимальном условии максимальный поток тепла $S_{\text{max}} \approx 10^9 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$. Для потока тепла за счет излучения черного тела при тех же условиях получается $S_{\text{вв}} \approx 10 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$. Итак, за счет туннелирования фотонов можно получить значительное увеличение плотности потока тепла. В случае теплопередачи между иглой микроскопа с радиусом кривизны $R \approx d \approx 10 \text{ \AA}$ и поверхностью металла излучение будет идти с чрезвычайно малой площади $\approx 10^{-18} \text{ м}^2$.

этот флуктуирующий момент будет индуцировать дипольный момент зеркального изображения. Взаимодействие двух моментов приведет к притяжению атома к поверхности (это и есть сила Ван-дер-Ваальса). Аналогично, если имеются два протяженных электрически нейтральных тела, то взаимодействие флуктуирующих зарядов со своими изображениями будет приводить к взаимному притяжению тел. Для двух тел с гладкими, параллельными друг другу поверхностями при $d < \lambda = c/\omega_0$, где ω_0 — характеристическая частота, притяжение между телами определяется мгновенным кулоновским взаимодействием, и сила убывает с расстоянием, как d^{-3} . При $d > \lambda = c/\omega_0$ начинают проявляться эффекты запаздывания взаимодействия, обусловленные конечностью скорости света; здесь $F \propto d^{-4}$. Например, для нормальных металлов роль характеристической частоты играет плазменная частота: $\omega_0 \approx 10^{16} \text{ с}^{-1}$ и $\lambda = 10 \text{ нм}$. Консервативное взаимодействие Ван-дер-Ваальса, связанное с взаимной поляризацией тел, определяется в основном виртуальными фотонами. В отличие от реальных виртуальные фотоны не существуют в свободном состоянии, а рождаются и исчезают в процессе взаимодействия. Для них уже не справедливо обычное соотношение между энергией и импульсом, которое выполняется для реальных фотонов.

Если тела движутся относительно друг друга, помимо консервативного имеет место также диссипативное взаимодействие Ван-дер-Ваальса, связанное с силой трения. Последняя возникает из-за того, что диполь изображения немного отстает от диполя, который его породил. Консервативное взаимодействие исследуется уже долгое время, и сейчас его можно считать хорошо изученным, исследования же диссипативного взаимодействия начались недавно в связи с развитием зондовой сканирующей микроскопии, так как при движении зонда проявляются оба вида сил.

Пусть имеются две абсолютно гладкие, параллельные друг другу поверхности, которые разделены достаточно широким вакуумным промежутком, препятствующим туннелированию электронов. Если поверхности движутся друг относительно друга со скоростью v , между ними возникает сила трения. Отметим, что трение возникает в отсутствие какой-либо шероховатости, которое обычно ассоциирует с трением. Природа этого вакуумного трения состоит в следующем. Если первое тело испускает электромагнитные волны в направлении движения и против него, то в системе отсчета, жестко связанной со вторым телом, волны будут испытывать противоположный сдвиг частоты за счет эффекта Доплера (рис.7). С учетом частотной

Трение между наноструктурами

Перенос тепла не единственное явление, обусловленное флуктуирующим электромагнитным полем. Хорошо известно так называемое взаимодействие Ван-дер-Ваальса. У нейтрального атома средний дипольный момент равен нулю, но есть флуктуирующий дипольный момент за счет квантовых флуктуаций. Если поместить атом вблизи поверхности твердого тела,

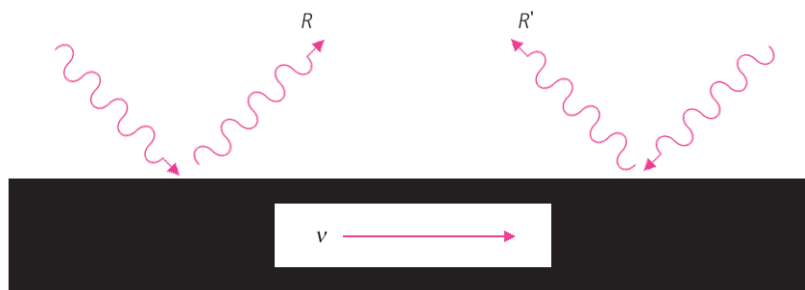


Рис.7. Отражение волн от поверхности движущегося диэлектрика. Волны, которые распространяются в направлении движения и против него, испытывают противоположный сдвиг частоты за счет эффекта Доплера и поэтому отражаются по-разному.

зависимости коэффициента отражения они будут по-разному отражаться от поверхности второго тела, благодаря чему между поверхностями возникает поток импульса, который определяет силу трения. С точки зрения квантовой механики вакуумное трение порождается процессами двух типов. В процессах первого типа происходит рождение фотонов с противоположным импульсом в каждом из тел, причем частоты фотонов связаны соотношением $\nu q = \omega_1 + \omega_2$. В процессах второго типа происходит уничтожение фотона в одном теле и рождение — в другом. Первый процесс возможен даже при нулевой температуре и дает силу трения, которая кубически зависит от скорости. Второй процесс реализуется только при конечных температурах. Однако он дает силу трения, которая линейно зависит от температуры, и поэтому будет доминировать при достаточно высокой температуре и не слишком больших скоростях.

В случае движения зонда сканирующего микроскопа в бесконтактном режиме на зонд действует сила трения $F_{\text{тр}} = \eta v$, где v — скорость движения. При $d < \lambda_w (\epsilon_0 k_B T / \sigma)^{1/2}$ и $\epsilon_0 k_B T / \sigma < 1$ вклад в коэффициент трения η за счет p -поляризованных волн определяется формулой:

$$\eta_p = \frac{\hbar R}{d^3} \left(\frac{\epsilon_0 k_B T}{\hbar \sigma} \right)^2, \quad (8)$$

а s -поляризованные волны при $d \ll d_w = c(\hbar \epsilon_0 / \sigma k_B T)^{1/2}$ дают вклад, не зависящий от расстояния d :

$$\eta_s = 0.34 \frac{\hbar R}{d_w^3}, \quad (9)$$

где R — радиус кривизны иглы микроскопа. Для хороших проводников с $\sigma \approx 10^7$ (Ом·м)⁻¹ из формул (8) и (9) при комнатной температуре, $d = 100$ Å и $R = 1000$ Å получаем $\eta_p \approx 10^{-27}$ кг·с⁻¹ и $\eta_s \approx 10^{-17}$ кг·с⁻¹. Более чем скромный вклад p -поляризованных волн может быть увеличен на 10 порядков, если проводимость

выбрать в соответствии с условием (5). Однако в недавних экспериментах [3, 4] наблюдался значительно больший коэффициент трения порядка 10^{-10} – 10^{-13} кг·с⁻¹, причем для хороших проводников типа золота.

В чем же причина столь сильного эффекта бесконтактного трения? При выводе формул (8) и (9) закладывались определенные представления о свойствах вещества — например, использовались формулы Френеля для коэффициента отражения. Поставим вопрос, как мы делали выше для теплового излучения: каким может быть максимальный эффект? Как и раньше, предположим, что вероятность туннелирования приблизительно равна единице для фотонов с $\omega > \omega_a$ и $q < q_a$, где ω_a и q_a — граничные частота и волновое число фотона (отметим, что при очень низких частотах вероятность туннелирования стремится к нулю, как ω^2). При этих условиях получим верхнюю оценку для коэффициента трения:

$$\eta_{\text{max}} \approx \frac{\hbar q_a^4 R^2}{8\pi} \left(\frac{k_B T}{\hbar \omega_a} \right). \quad (10)$$

Оптимальные условия могут осуществиться, например, при резонансном туннелировании фотонов. При этом фотон, который испускается при переходе из возбужденного состояния, локализованного на одной из поверхностей, в основном, поглощается точно таким же основным состоянием на другой поверхности. В качестве подобных состояний могут выступать колебательные моды, связанные с адсорбированными молекулами, поверхностные рэлеевские и плазменные волны. Конечно, резонансное туннелирование может происходить только между абсолютно одинаковыми поверхностями, что и было реализовано в недавнем эксперименте [3]. Там же наблюдалась очень слабая зависимость коэффициента трения от расстояния (как $d^{-1.3}$). Последний факт гово-

рит в пользу резонансного туннелирования, и вот почему. Рассмотрим две потенциальные ямы, в которых может быть локализована частица. Если ямы различны, волновая функция частицы будет с большей вероятностью локализована либо на одной, либо на другой яме, причем эта асимметрия увеличивается при увеличении расстояния между ними. Однако если ямы одинаковы, волновая функция будет или симметричной, или антисимметричной, и независимо от расстояния частица с одной и той же вероятностью локализуется в каждой из ям. Для оценки рассмотрим колебательные моды адсорбированных атомов. В этом случае ω_a определяет нижнюю границу колебательного спектра, а его верхнюю границу устанавливает волновое число $q_a \approx a^{-1}$, где a определяет межатомное расстояние в адсорбированном слое. Тогда при $\omega_a \approx 10^{12}$ с⁻¹, $a \approx 10$ Å и $R \approx 1000$ Å получаем $\eta \approx 10^{-12}$ кг·с⁻¹, что близко к экспериментальному значению.

Резонансное туннелирование фотонов ответственно также за другое интересное явление, которое наблюдается при прохождении света через металлическую пленку с отверстиями, образующими периодическую решетку [11]. Если диаметр отверстий меньше длины волны света, в отверстиях могут распространяться только неоднородные волны, что соответствует фотонному туннелированию. Учитывая их экспоненциальное затухание в направлении распространения, для достаточно толстых пленок можно ожидать коэффициента прохождения света, значительно меньшего единицы. Однако коэффициент прохождения увеличивается на много порядков, если частота света совпадает с частотой поверхностных плазмонов на одной из перфорированных поверхностей. И он возрастает еще примерно на порядок, приближаясь к единице, если поверхности пленки с двух сторон

абсолютно одинаковы и поверхностные плазмоны на них имеют одни и те же частоты (тогда туннелирование фотонов становится резонансным). В последнем случае коэффициент прохождения очень слабо зависит от толщины пленки. Благодаря этому можно концентрировать энергию электромагнитного поля в объеме с линейными размерами, меньшими длины волны, что полезно для микроскопии ближнего поля (где, в отличие от обычной микроскопии, используются неоднородные волны), для фотолитографии и нелинейной оптики, а также оптоэлектроники.

Под другим углом зрения

Диссипативное взаимодействие Ван-дер-Ваальса можно исследовать не только с помощью измерения силы трения при относительном скольжении двух поверхностей. Другой, более элегантный способ наблюдения состоит в пропускании тока через одну пластину и регистрации эффекта фрикционного увлечения электронов во второй пластине, параллельной первой (рис.8). Такие эксперименты были осуществлены недавно с помощью двумерных электронных систем. В двумерных слоях электроны могут двигаться только в направлениях, параллельных поверхности слоя — движение в перпендикулярном направлении невозможно из-за сильного квантования энергии, соответствующей этому движению. В эксперименте две двумерные подсистемы (электронный или дырочный газы) отделяются друг от друга слоем диэлектрика, достаточно толстым, чтобы предотвратить туннелирование между слоями, но позволяющим межслойное взаимодействие между частицами. Около 20 лет назад М.Б.Погребенский и Дж.Райс независимо предсказали [11, 12], что кулоновское взаимодействие между такими

системами приведет к фрикционному увлечению, когда ток в одном слое вызывает ток в другом. Недавно мы разработали теорию фрикционного увлечения [13] на основе общей теории флуктуирующего электромагнитного поля. Первый подобный эксперимент был выполнен Т.Грамилой с соавторами [14] так: постоянный ток пропускался в одном слое, а второй был частью разомкнутой цепи. Поэтому ток не мог протекать по второму слою, и там возникало электрическое поле, уравновешивающее силу увлечения за счет взаимодействия с первым слоем.

При токе, соответствующем относительной скорости скольжения слоев v , между слоями возникает фрикционное напряжение $\sigma_{\text{фр}} = \Gamma v$. При $T = 3$ К и $d = 20$ нм для квантовых ям, образованных в арсениде галлия, был зарегистрирован коэффициент трения $\Gamma \approx 10^{-8}$ кг·с⁻¹·м⁻². Значительно большее фрикционное напряжение может наблюдаться для двумерных электронных слоев с высокой электронной плотностью, соответствующей металлическим пленкам. Важно отметить, что фрик-

ционное напряжение для двумерных электронных систем с низкой электронной плотностью $n < 10^{16}$ м⁻² определяется мгновенным кулоновским взаимодействием за счет флуктуаций заряда, а для систем с высокой электронной плотностью — индукционным электромагнитным полем в ближней зоне. Эксперименты по фрикционному увлечению позволяют исследовать тонкие особенности электрон-электронного взаимодействия, которое имеет фундаментальное значение для многих явлений, начиная со сверхпроводимости и дробного квантового эффекта Холла и кончая кулоновской щелью в неупорядоченных системах и механизмами диссипации энергии при граничном трении. Здесь можно ожидать очень интересные фундаментальные результаты и практические приложения.

Например, силу трения, действующую на тонкие адсорбированные слои инертных атомов и молекул, таких как криптон, ксенон и молекулярный азот, удастся измерять с помощью микробаланса кварцевого кристалла. Сдвиг частоты и изменение затухания колебаний

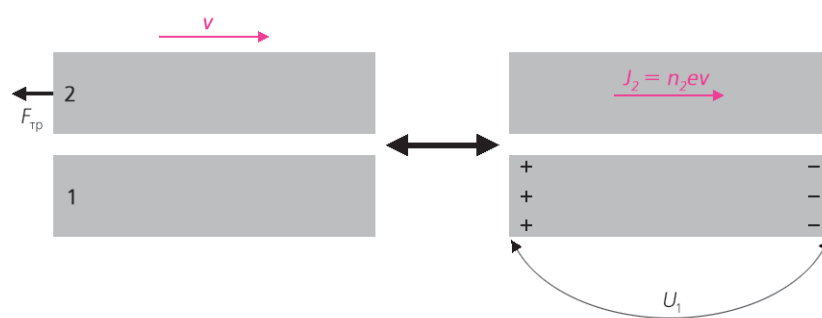


Рис.8. Возникновение фрикционного сдвигового напряжения на поверхности двух металлов, разделенных вакуумным промежутком. Оно действует за счет переноса импульса между электронами посредством электромагнитных волн. Фрикционное сдвиговое напряжение между поверхностями двух металлов может быть также измерено, если их не передвигать (как слева), а приложить к одному из металлов (верхнему) напряжение, которое вызовет дрейфовое движение электронов проводимости (стрелкой показано направление движения электронов). Фрикционное напряжение, действующее на электроны другого металла, породит падение потенциала между противоположными торцами металла, которое может быть измерено экспериментально (справа).

последнего при адсорбции на металлической пленке дают прямую информацию о процессах на границе раздела. С помощью этого подхода удастся измерять фононный и электронный вклады в трение. В частности, если подложка — металл, который может быть охлажден ниже температуры перехода в сверхпроводящее состояние, по изменению трения вблизи точки перехода можно судить об относительной роли электронного вклада в трение (только он и меняется при переходе).

Такой эксперимент был недавно поставлен с монослоем молекулярного азота на пленке свинца [15]. Результат оказался замечательным: в точке перехода диссипация энергии за счет трения уменьшалась наполовину от своего значения в нормальном состоянии. Ясно, что данное поведение связано со сверхпроводимостью металлической подложки. Хотя это явление подтверждает предсказания о важности электронного механизма диссипации энергии, остается загадкой, почему переход происходит столь резко. На первый взгляд электронное трение должно коррелировать с долей электронов в сверхпроводящем конденсате, которая меняется в точке перехода непрерывным образом. Однако это находится в остром противоречии с экспериментальными данными. Для скачкообразного изменения трения в точке перехода в настоящее время не предложено ясного объяснения. В проведенных исследованиях предполагалось, что трение определяется кулоновским полем, экранирование которого слабо меняется в точке перехода. С другой стороны, наши исследования трения за счет диссипативного взаимодействия Ван-дер-Ваальса показали, что даже при очень малых расстояниях в случае низких температур трение может определяться индукционным электромагнитным полем, экранирование которого скачкообразно меняется в точке пе-

рехода за счет эффекта Мейснера. Важно отметить, что по сравнению с трением между гладкими поверхностями в случае адсорбированных слоев могут возникнуть новые каналы переноса импульса, связанные с дифракцией неоднородных электромагнитных волн на периодической решетке адсорбированных атомов. При этом становятся возможными процессы, когда испущенный подложкой фотон после дифракции на решетке адсорбированных атомов поглощается подложкой с большим изменением импульса. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы прояснить эту ситуацию.

Забегая вперед

В качестве примера будущего применения на практике процессов, о которых шла речь выше, приведем такой. Недавно было предложено использовать оптику ближнего поля для записи чрезвычайно тонких деталей интегральных схем. Основная идея аналогична той, которая изложена выше применительно к передаче тепла: компоненты электро-

магнитного поля, имеющие короткие волны (и следовательно, пригодные для высокого разрешения), являются по природе затухающими и не дают вклада в эффекты в волновой зоне, т.е. при больших расстояниях. Таким образом, тонкие детали любой шаблонной маски будут размываться с увеличением расстояния от маски. Однако на очень близком расстоянии от маски очень тонкие детали микросхем разрешить можно. Грубо говоря, расстояние от маски до матрицы должно быть того же порядка, что и размеры тонких деталей микросхем, которые нужно воспроизвести. Если бегущие волны оказываются неэффективными в переносе излучения, частота практически не сказывается на разрешающей способности, которая в этом случае почти полностью определяется расстоянием. Представим шаблонную маску, на поверхность которой нанесен узор микросхемы с помощью чередующихся слоев материала высокой отражающей способности (и поэтому слабо излучающего) и второго материала, обеспечивающего максимальное излучение тепла посредством

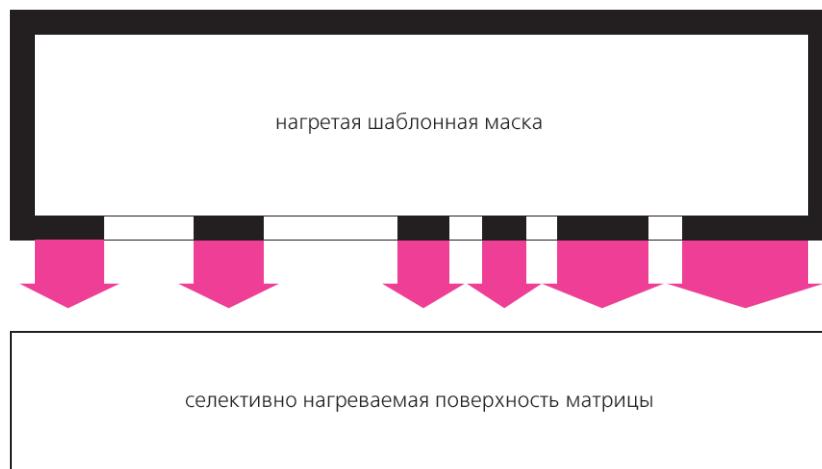


Рис.9. Перенос узора с шаблона на матрицу. Узор на шаблонной маске образован чередующимися областями сильно и слабо излучающих материалов. Матрица, помещенная на близком расстоянии от нее, будет нагреваться под участками из хорошего нагревателя. Этот эффект можно использовать для селективного травления поверхности при изготовлении электронных микросхем с гораздо большей разрешающей способностью, чем это возможно обычными методами.

неоднородных волн, выбор которого мы обсудили. Поверхность матрицы, помещенная под таким шаблоном очень близко к нему, будет предпочтительно нагреваться под активной зоной, испытывать в этих участках тепловое травление, и узор шаблона будет переноситься на матрицу (рис.9).

А вот совсем неожиданная область: биологи давно интересуются необычайной цепкостью гекконов. Эти ящерицы способны карабкаться по отвесным гладким поверхностям без при-

менения каких-либо клеящих веществ благодаря особенностям строения конечностей [16]. Первым их удивительную способность к лазанию заметил еще Аристотель. Причина необычной цепкости гекконов теперь выяснена: на их лапках есть микроскопические щетинки, параметры которых близки к параметрам иглы в зондовом микроскопе. Эти щетинки обеспечивают сильное сцепление лапок гекконов с поверхностью посредством взаимодействия Ван-дер-Ваальса, усиленного особой геоме-

трической формой щетинок. А вдруг диссипативное взаимодействие Ван-дер-Ваальса также играет важную роль в живой природе?

С уверенностью можно сказать, что найдутся и другие явления, в которых будут работать процессы, вынесенные в заголовок статьи. ■

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований. Проекты 96-02-16112 и 01-02-16202.

Литература

1. Polder D, Van Hove M. // Phys. Rev. B. 1971. V.4. №10. P.3303—3314.
2. Левин МЛ., Полевой В.Г., Рытов С.М. // ЖЭТФ. 1980. Т.79. С.2087—2103.
3. Pendry J.B. // J. Phys.: Condens. Matter. 1999. V.11. P.6621—6633.
4. Gostmann B., Fuchs H. // Phys. Rev. Lett. 2001. V.86. №12. P.2597—2600.
5. Stipe B.C., Mamin H.J., Stowe T.D. et al. // Phys. Rev. Lett. 2001. V.87. №9. P.096801.
6. Volokitin A.I., Persson B.N.J. // J. Phys.: Condens. Matter. 1999. V.11. P.345—359.
7. Persson B.N.J., Volokitin A.I. // Phys. Rev. Lett. 2000. V.84. №15. P.3504.
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М., 1957.
9. Volokitin A.I., Persson B.N.J. // Phys. Rev. B. 2001. V.63. №5. P.205404.
10. Krishnan A., Tbio T., Kim T.J. et al. // Optics Commun. 2001. V.200. P.1—7.
11. Погребенский М.Б. // ФТП. 1977. Т.11. С.372.
12. Price J.P. // Physica. 1983. V.117B&118B. P.750—752.
13. Volokitin A.I., Persson B.N.J. // J. Phys. Condens. Matter. 2001. V.13. P.859—873.
14. Gramila T.J., Eisenstein J.P., Macdonald A.H. // Phys. Rev. Lett. 1991. V.66. №9. P.1216—1219.
15. Dayo A., Alnasrallah W., Krim J. // Phys. Rev. Lett. 1998. V.80. P.1690.
16. Autumn K., Liang Y.A., Hsieh S.T. et al. // Nature. 2000. V.405. P.681—685.

Метеорология

Загадка огромной градины

В солнечный январский день 2000 г. около испанского г.Тосина (Андалусия) с неба упал ледяной шар размером с футбольный мяч. К счастью, его немедленно положили в холодильник, и вскоре исследованием необычной градины занялась группа специалистов под руководством планетолога Х.Мартинеса-Фриаса (J.Martinez-Frias; Мадридский астробиологический центр).

Два с половиной года спустя ученые признали, что причины града в ясную погоду так и остались загадкой. Гипотезу о «са-

молетном» происхождении ледяного шара (он мог образоваться из дождевой воды, скопившейся в каком-либо углублении крыльев или фюзеляжа, и сорваться при полете) пришлось отвергнуть: в тот момент никакие летательные аппараты над этим районом не пролетали. Внеземное происхождение тоже не подтвердилось: градина состояла из замерзшей воды земного, а не кометного типа.

Чтобы понять, каким образом подобные образования могут возникать в отсутствие обычных осадков (данный случай не уникален: за последние 10 лет в разных странах мира произошло около 50 аналогичных событий), находку пришлось распилить. Оказалось,

что строение ледяного шара напоминает луковицу, слои которой наполнены множеством воздушных пузырьков, содержащих различные газы (в первую очередь аммиак) и мелкие частицы кремния.

Группа Мартинеса-Фриаса продолжает изучать эту проблему и просит сообщать обо всех похожих случаях в Интернет по адресу <http://www.tierra.rediris.es/megacymeteors> (приветствуются также любые предположения и гипотезы). Ученые признают, что из-за редкости явления могут пройти годы, прежде чем истина будет найдена.

Science. 2002. V.297. №5582. P.765; Journal of Chromatography A. 2002. June (США).

Дамейковская

Вести из экспедиций

Возвращение в Гренландию

П.Г.Талалай

Летом 2001 г. я вновь побывал в Гренландии. О своем участии в высокоширотной полярной экспедиции, о некоторых моментах истории исследований самого большого острова в мире я уже рассказывал читателям «Природы» в статье, где речь шла в основном о глубоком бурении в Гренландии в ледниковом покрове [1]. Всего здесь пройдено шесть глубоких скважин, последнюю по проекту колонкового бурения Северной Гренландии NGRIP (North Greenland Ice Project) начали в 1998 г. с целью изучения изменения климата Земли в период от 130 до 115 тыс. лет назад. В западной научной литературе он носит название «Eemian» и, по имеющимся данным, потепление того времени можно сравнить с современным. В целом метод построения прогнозов на основе реконструкции климата прошлого считается достаточно удовлетворительным, хотя имеет существенный недостаток: не всегда позволяет учесть влияние принципиально новых факторов — парникового эффекта, озоновых дыр, последствий ядерных взрывов.

Тем не менее именно анализ состава льда в последние десятилетия стал основным методом



Павел Григорьевич Талалай, кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного горного института им.Г.В.Плеханова. Область научных интересов — разработка технологии и техники глубокого бурения скважин во льдах Антарктиды и Гренландии. Участник 35-й Советской антарктической экспедиции 1989–1991 гг. (станция «Восток»).

палеоклиматологии. Накапливая воздушные включения из атмосферы, лед «запоминает» черты прошлого. Главным источником информации выступает здесь его изотопный состав, в частности содержание «легкого» O^{16} и «тяжелого» O^{18} изотопов кислорода: с повышением температуры концентрация первого увеличивается, а второго — снижается. Так лед фиксирует климатические события подобно тому, как фотография — объект съемки, а затем долго хранит этот образ. Остается извлечь образцы из глубоких горизонтов ледниковых покровов.

Сейсморазведка и радиозондирование в Северной Гренландии показали, что слои льда возрастом 115–130 тыс. лет долж-

ны находиться на глубине примерно 2710–2800 м. Буровой полигон был выбран в точке с координатами 75.12° с.ш., 42.30° з.д., где из-за особенностей донного рельефа эти слои предположительно имеют максимальную мощность [2].

В августе 2000 г. глубина скважины достигла 2932 м (табл.1). Но ожидаемый лед так и не был поднят на поверхность, поскольку, вопреки геофизическим исследованиям, годовые слои оказались толще предполагаемых. Мощность ледника в этом месте составляет 3085 ± 30 м, и для выхода в подледниковые горные породы оставалось пробурить всего 150 м.

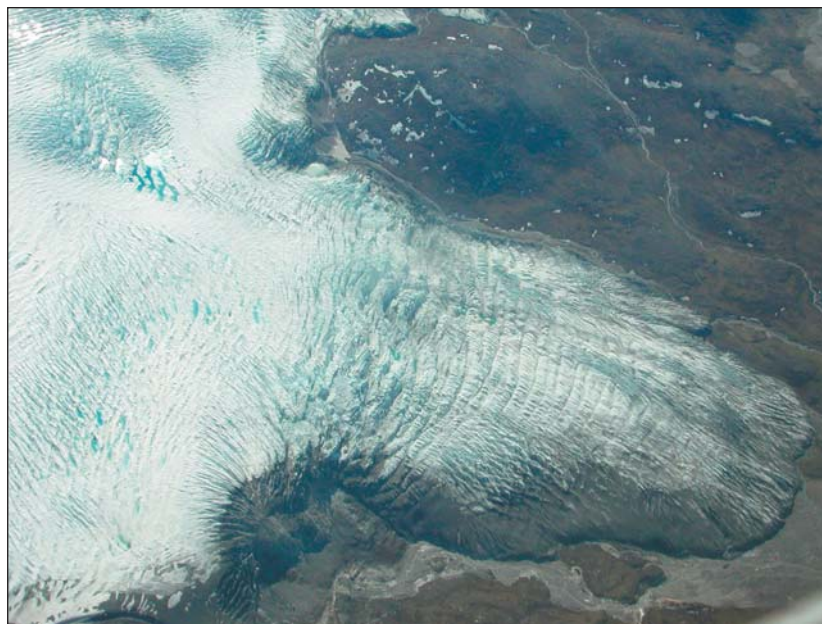
После извлечения раствора этиленгликоля, оставленного в скважине в 2000 г. (это веществ-

во препятствует замерзанию, но, к сожалению, превращается в тестообразную массу, налипающую на буровой снаряд), работа была продолжена. Полевой сезон 2001 г. начался в мае.

На станции NGRIP в первой его половине работало 19 человек, а во второй — всего 13. Начальник и научный руководитель — специалист в области динамики ледников и ледниковых покровов профессор Копенгагенского университета Д.Даль-Йенсен. Она не только известный гляциолог, но и многодетная мама (у нее четверо детей). Последним увлечением профессора стало моделирование ледниковых куполов Марса: хорошо заниматься тем, что не может быть проверено по крайней мере при жизни, говорила, шутя, Даль-Йенсен.

Физический факультет Копенгагенского университета, к которому относится гляциологическая лаборатория, испытывает определенные трудности, связанные с кризисом в области фундаментальных исследований. Видимо, поэтому в университете не нашлось достойной смены двум датским «китам», специалистам по бурению скважин во льдах. Первый, Н.Гундеструп, генератор всех программ по бурению глубоких скважин в Гренландии, проводивший больше 20 полевых сезонов на ледниковом щите, два года назад тяжело заболел и скончался 4 ноября 2002 г. Второй, С.Джонсен, обладатель самой престижной среди гляциологов награды «Кристалл Зелигмана»*, не смог принять участие в полевом сезоне 2001 г., он не прошел медицинскую комиссию, а она здесь чрезвычайно строгая.

Поэтому начальником бурового отряда сезона 2001 г. стал Ф.Уилелмс, молодой научный сотрудник Института им.А.Веге-



Под крылом самолета один из широко распространенных в береговой части Гренландии выводных ледников.

Здесь и далее фото автора и других участников экспедиции

нера из Бремерхафена (Германия). Несколько лет назад он защитил диссертацию по электрическим методам исследований ледяного керна, в Гренландии проводил все последние сезоны начиная с 1996 г. Здесь он приобрел навыки управления буровым снарядом, хорошо распознает аварийные ситуации в скважине, обладает хорошей интуицией (что очень важно для оператора бурения), в меру осторожен. Физически он очень кре-

пок, что также желательно для людей, работающих на буровой.

В интернациональную часть экспедиции входит также бурильщик из Токио Й.Танака, по образованию инженер-электронщик, опытейший специалист по гляциобурению, работал в Антарктиде. Возглавляет компанию «Geosystems Inc.», специализирующуюся на программном обеспечении геологических, геофизических, буровых работ.

Таблица 1

Показатели бурения глубокой скважины NGRIP

Показатели	Полевой сезон			
	1998 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.
количество полевых дней (бурение/всего)	3/36	66/94	54/93	15/81
пробуренный интервал, м	0–107	107–1752	1752–2932	2932–3001
общее количество пробуренных метров	107	1645	1180	69
средняя производительность бурения, м/сут	35.7	30.1	20.4	4.6
максимальная производительность бурения, м/сут	63.6	45.8	35.2	6.5
средняя рейсовая проходка, м/рейс	-	2.86	2.97	0.50
среднее количество рейсов в сутки	-	9.4	6.9	-

* Учреждена в 1963 г. в честь английского гляциолога Дж.Зелигмана (1886–1973), одного из основоположников современного снеговедения, основателя (1947) и первого президента (до 1963 г.) Британского, впоследствии Международного гляциологического общества.



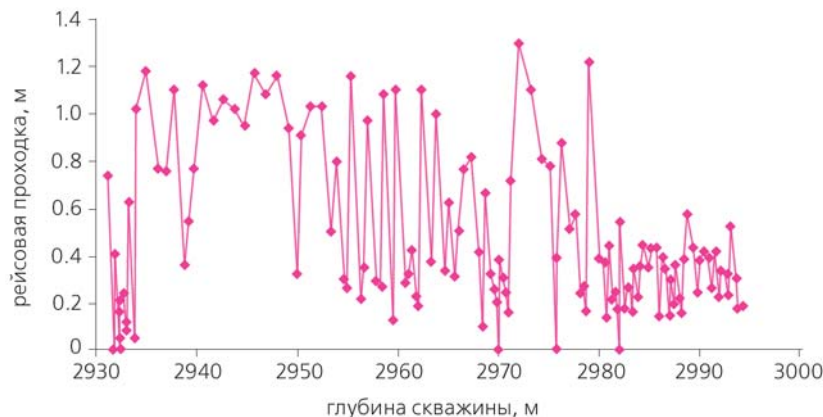
Участники экспедиции. Стоят (слева направо): начальник станции Д.Даль-Йенсен, помощник бурильщика Р.Шалма, бурильщик П.Г.Талалай, механик С.Хилмарссон, начальник буровой группы Ф.Уилелмс, механик И.Шармели. Сидят: бурильщик Й.Танака, гляциолог Ж.-Л.Тисон.

Следующий участник группы — автор этих строк. Для меня это третий полевой сезон в Гренландии, приглашен в проект после стажировки в Копенгагенском университете, поскольку имел опыт бурения в сложных условиях на Северной Земле и на станции «Восток» в Антарктиде.

Остальные члены буровой группы очень молоды и только

начинают пробовать свои силы на поприще полярной романтики. Это — студент Копенгагенского университета француз Р.Шалма, переехавший в Датское королевство к жене-датчанке, и швейцарский механик И.Шармели из Берна. Силами шести человек и велась проходка скважины.

В начале полевого сезона 2001 г. бур за один рейс прохо-



Рейсовая проходка (полевой сезон 2001 г.) в зависимости от глубины скважины.

дил почти метр, однако на глубинах свыше 2960 м из-за резкого возрастания тока в цепи питания приводного электродвигателя бурение приходилось останавливать после проходки всего 0.2—0.3 м. Причина — образование наледи на поверхности резцов и буровой коронки, что было вызвано резким изменением свойств льда, залегающего на больших глубинах. Во-первых, размеры кристаллов льда здесь увеличивались на порядок, во-вторых, температура льда в скважине приближалась к точке плавления, которая под давлением вышележащей толщи (а это примерно 27 МПа) на глубине около 3 км составляет -2°C .

В таких условиях характер разрушения льда резко изменялся. Если в верхних горизонтах хрупкий, как стекло, он превращался в раздробленную крошку, то «теплый» пластичный лед глубоких слоев разрушался, образуя частицы шлама, похожие на деревянную стружку, вылетающую из рубанка. Конструкция бурового снаряда оказалась не приспособленной для их удаления. Шлам быстро забивался в зазоры колонковой трубы, слипался и формировал ледяное кольцо вокруг бурового снаряда.

Все меры, предпринятые для стабилизации проходки, потерпели фиаско. Более того, на глубине 2983.7 м буровой снаряд застрял. Даже при максимальном натяжении кабеля он оставался намертво «приклеенным» к забою скважины. В нее было опущено 5 кг замороженного этиленгликоля, и через 5 ч снаряд «вышел на волю». Этот случай был не единственным — «прихваты» снаряда происходили еще три раза (табл.2).

Крупные неприятности перемержались мелкими. Так, во время ликвидации третьей аварии дисковый тормоз лебедки не выдержал нагрузок. Более того, в нарушение всех инструкций техники безопасности он почему-то оказался не закрыт защитным кожухом, и дисковая

накладка рассыпалась на мелкие куски, расстреливая, как из крупнокалиберного пулемета, помещение буровой.

Лебедка, потеряв управление, стала самопроизвольно раскручиваться, и, несмотря на то, что буровой снаряд был на забое, кабель уходил в скважину до тех пор, пока оператор не задействовал ручной аварийный тормоз. В скважину ушло «лишних» 170 м кабеля. Со всеми мерами предосторожности снаряд был извлечен, но из-за ослабления оплеток на кабеле образовался узел в 70 м от бурового снаряда. Поэтому нижний поврежденный участок кабеля пришлось отрезать и заново сделать.

Буровой снаряд отмыли и оставили на ночь с включенным внутренним обогревателем. Утром обнаружили, что блок питания его компьютера полностью выгорел. К счастью, сам он оказался неповрежденным, а дубликат комплекта никелево-кадмиевых батарей имелся в наличии. Предстояло отремонтировать

Таблица 2
Прихваты бурового снаряда в скважине NGRIP (2001 г.)

Глубина, м	Дата	№ рейса	Масса гликоля, опущенного в скважину, кг	Время ликвидации аварии, ч
2983.7	2 июля	1102	5.0	7
2987.4	4 июля	1113	2.5	7
2994.3	8 июля	1136	4.5	14
2999.8	27 июля	1161	4.0	19

тормоз лебедки, но для него запасных частей не оказалось. И все же в наше время технического прогресса эта проблема была вполне решаемой. Другое дело — доставка необходимого груза в центральную часть Гренландии еще не так давно, в начале прошлого века.

Здесь уместно бы вспомнить организацию станции «Айсмитте» («Ледяной центр») и ее руководителя Альфреда Вегенера (1880—1930) — немецкого метеоролога, геофизика, профессора университета в Граце, одного из столпов теории дрейфа континентов (ныне он более из-

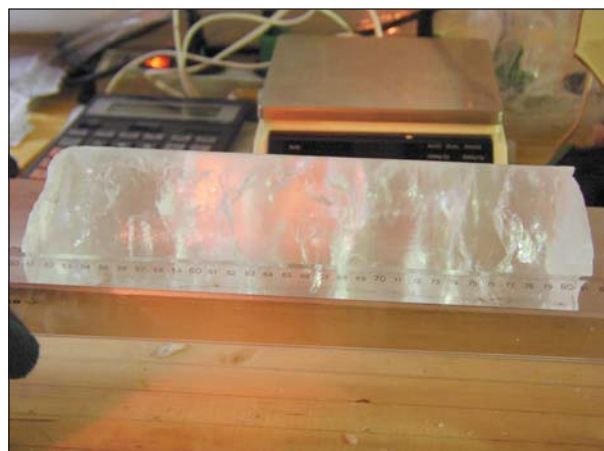
вестен именно в этой ипостаси). Не случайно его именем назван один из крупнейших в мире научно-исследовательских институтов, занимающихся изучением полярных районов Земли, — Вегенер участвовал в нескольких походах на Гренландский ледниковый щит (1906—1908, 1912—1913) и руководил экспедицией 1929—1930 гг., во время которой с помощью сейсмических измерений получены первые достоверные данные о мощности гренландского ледника, снегонакопленнии и строении снежно-фирновой зоны [3, 4].

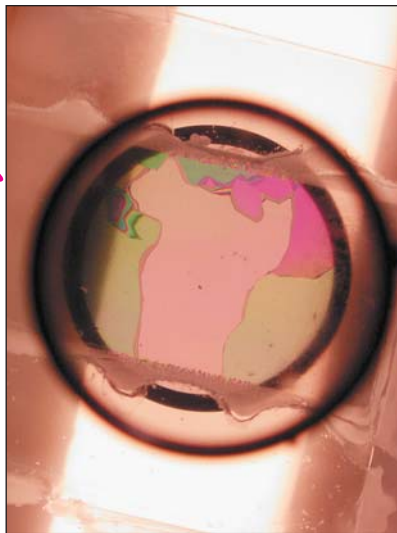


Буровое помещение представляет собой траншею, вырытую в верхней части ледникового покрова.



Извлеченный керн пронизан внутренними трещинами.





Шлиф зерна в поляризационном свете, размер кристалла льда — около 5 см.



Обрезаем поврежденный участок кабеля (слева — автор статьи, справа — Ф.Уиллелмс).

Грузы (продовольствие, керосин и научное оборудование) доставляли тогда в намеченную точку (71°с.ш., высота около 7000 м над ур.м.) несколькими партиями. Первая (трое ученых и местные охотники) двинулась в путь на 12 собачьих упряжках 15 июля 1930 г., с собой везли 3.5 т продовольствия и снаряжения. Когда было пройдено 200 км, эскимосы заявили, что возвращаются назад, едва уда-

лось уговорить продолжать путь четверых из них. Добрались до места, разгрузились, и все, кроме одного исследователя, повернули назад за новыми грузами.

Два дополнительных похода доставили продовольствие, керосин и научное снаряжение. Теперь на станции оставались двое, они ждали, что подойдут аэросани — это новомодное транспортное средство Веге-

нер, сначала руководивший организацией экспедиции с побережья, заказал в Финляндии. На них находилось необходимое для поддержания станции оборудование, и в том числе — теплый деревянный дом. Но из-за непогоды и неполадок с двигателями сани вернулись на побережье. Пришлось вырыть пещеру и разбить в ней палатку — в ней предстояло провести зимовку.

Сам Вегенер с Ф.Лёве и небольшой группой эскимосов отправился к станции 22 сентября на собачьих упряжках. Встретив по дороге аэросани, возвращавшиеся назад к побережью, Вегенер все же не потерял решимости добраться до «Айсмитте». Но опять забастовали эскимосы, которыми овладел суеверный страх перед злыми духами, — наотрез отказались двигаться дальше, остался только Расмус, 22-летний охотник. Медленно пробиваясь вперед (не больше 15 км в день), они постепенно расходовали и сбрасывали грузы, предназначенные для зимовки. Последние километры пути были самые тяжелые: люди и собаки измождены, кончились запасы керосина, и температура воздуха внезапно упала до -40° .



Традиционный хоровод вокруг огромного костра по поводу Праздника середины лета (22 июня).

Когда же, наконец, 30 октября они ввалились в ледяную пещеру, радость быстро сменилась осознанием трагического положения: зимовать здесь, оставшись практически без продовольствия и топлива, они не могли. Лёве вынужден был остаться, он отморозил себе обе ступни, и ему ампутировали пальцы ног (без всякого обезболивания, кухонным ножом).

Передохнув две ночи и отпраздновав свое 50-летие, Вегенер с Расмусом 1 ноября двинулись к побережью. Семнадцать тощих собак тянули две легко нагруженные нарты — на них было все, чем могли пожертвовать зимовщики. Весной следующего года участники спасательной экспедиции увидели лыжи, воткнутые в снег в 211 км от станции. Раскопав снег, они нашли палатку и Вегенера, зашитого в чехол от спального мешка: спокойное лицо, открытые глаза. Дневник и остальные личные вещи, по-видимому, забрал Расмус, однако его самого так никогда и не нашли. Оставшиеся в самой середине Гренландского ледникового покрова зимовщики не только выжили, но и провели важнейшие научные исследования.

Конечно, на станции NGRIP условия работы и жизни не сравнимы с бытом «Айсмитте». Укатанная посадочная полоса (база сезонная, нас доставляет и увозит обратно самолет ВВС США «Геркулес С-130»), целый поселок из удобных домов-палаток, компьютерная станция, мастерские. Но, несмотря на относительный комфорт, работать здесь нелегко: температура даже летом ниже нуля, низкое атмосферное давление, вызывающее



Последние шаги по ледяной пустыне. Посадка в «Геркулес С-130».

в первые дни тошноту, рвоту, носовые кровотечения. Затем организм привыкает, но тяжести все же поднимать трудно.

Однако вернемся к нашей технической проблеме. Начальник станции Даль-Йенсен связалась с французской фирмой, выпускающей комплектующие ледобурки. Через два дня новый тормоз лежал на складе в пос. Кагерлюссак на западном берегу Гренландии, в 951 км от базы. Теперь в дело вступили летчики датских ВВС, которые сбросили его на станцию с военного истребителя. Это было настоящее чудо, поскольку погода была против нас: шел сильный снег, поднялась метель.

Тормоз поставили на место, но бурение так и не удалось стабилизировать, и на глубине

3001 м его решили приостановить. Долгожданные слои Eemian так и не были вскрыты. В этих условиях продолжение проходки скважины (до подледниковых пород, согласно радарным исследованиям, осталось всего 50–80 м) возможно только при существенной модернизации используемого бурового снаряда, которую планируется провести в 2002–2003 гг. В качестве альтернативы рассматривается возможность использования термобура, который разрушает лед путем его протаивания. О конструкции такого снаряда я уже рассказывал в своей статье [1]. Очень надеюсь, что вновь побывав в Гренландии и это возвращение на базу NGRIP не станет последним. ■

Литература

1. Талалай П.Г. Через Гренландский ледниковый щит // Природа. 2001. №8. С.44–52.
2. Dahl-Jensen D., Gundestrup N.S., Keller K. et al. // J. of Glaciology. 1997. P.300–306.
3. Последняя экспедиция А.Вегенера в Гренландию 1930–31 / Пер. с нем. Л., 1935.
4. Скотт Д. Ледниковый щит и люди на нем. М., 1959.

Хвостатые ферменты

М.Л.Рабинович, М.С.Мельник

В истории борьбы США и Японии за господство на Тихом океане и в Юго-Восточной Азии в годы второй мировой войны помимо трагических моментов был и один курьезный эпизод, о котором не упоминают военные хроники. Дело в том, что поначалу американский десант нес весьма чувствительные потери от... микроскопической плесени. Во влажном и жарком климате эта удивительная зеленая плесень в считанные дни превращала в труху хлопчатобумажные, брезентовые тенты и палатки, оставляя элитные части армии под палящим солнцем и тропическими ливнями буквально в чем мать родила.

Положение казалось столь серьезным, что Министерство обороны США вынуждено было даже организовать специальный научный центр в Нейтике (штат Массачусетс). Именно там из разложившегося обмундирования выделили грибок, вырабатывающий необыкновенно агрессивные ферменты — целлюлазы, которые и разрушали целлюлозную основу ткани. Справедливости ради заметим, что на самом деле честь открытия расщепляющих целлюлозу микроорганизмов принадлежит нашему соотечественнику — рус-



Михаил Лейбович Рабинович, доктор химических наук, руководитель научно-учебного отдела биохимических проблем Института биохимии им.А.Н.Баха РАН, профессор кафедры системной экологии Российского университета дружбы народов. Область научных интересов — микробное превращение растительных биополимеров.



Мария Степановна Мельник, кандидат химических наук, научный сотрудник того же института. Занимается изучением ферментативного катализа.

скому микробиологу В.Л.Омелянскому. Однако до работ американцев с помощью одних только ферментов (без микроорганизмов) удавалось разлагать лишь аморфные или растворимые производные целлюлозы, например карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ), которая при

заваривании образует студенистый клейстер (хорошо знакомый в быту обойный клей). Целлюлазы, разрезая длинные молекулы КМЦ, на глазах превращают студень в жиденький киселек. Ферменты же нового гриба этим не ограничивались. За пару дней при 30—50°C и рН 4—5

они почти без остатка разлагали хлопковое волокно. А ведь хлопковая целлюлоза (так называемая целлюлоза I) имеет настоящую кристаллическую укладку, стабилизированную межмолекулярными водородными связями. Она настолько плотная, что между соседними молекулами не проникают даже протоны. Недаром отдельные кристаллиты хлопкового волокна выдерживают кипячение в крепких растворах соляной кислоты!

Чтобы объяснить различия с другими микроорганизмами, Э.Рис и его коллеги из Нейтика предположили, что новый грибок, названный в честь своего первооткрывателя *Trichoderma reesei*, образует особый фермент (C1), который первым действует на хлопковое волокно и переводит молекулы целлюлозы в аморфное состояние, делая доступными для остальных целлюлаз (Cx) [1].

Такую целлюлозу действительно можно получить, если залить хлопок 85%-й фосфорной кислотой и дать постоять в холодильнике. Получится студень наподобие клея КМЦ. Если постепенно разбавлять его водой, начнут выпадать хлопья аморфной целлюлозы. Она легко гидролизуется целлюлазами, превращаясь в глюкозу и ее димер — целлобиозу, но во влажном виде аморфная целлюлоза постепенно снова кристаллизуется. Правда, образует она уже не целлюлозу I, а иную упорядоченную структуру. Однако суть от этого не меняется: в условиях, в которых действуют целлюлазы, аморфная целлюлоза менее устойчива, чем кристаллическая. Значит, чтобы катализировать процесс набухания кристаллической целлюлозы, фермент должен получать энергию извне. Но откуда?

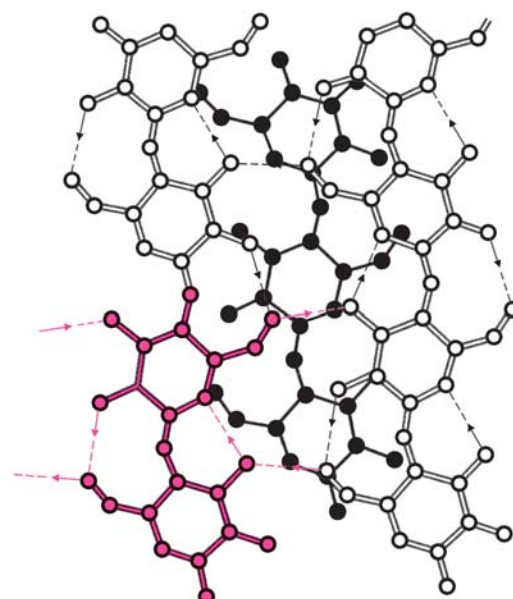
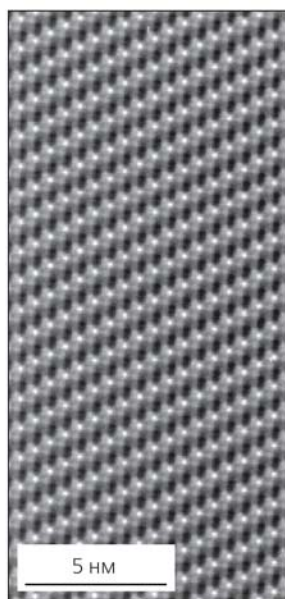
характер. Ситуацию изменил энергетический кризис, выявивший полную зависимость современной западной цивилизации от экспорта нефти. Естественно, сразу обострился интерес к альтернативным источникам энергии. Вспомнили и про целлюлозу, ежегодное воспроизводство которой составляет 100 млрд тонн. Целлюлазы превращают ее в глюкозу — удобное сырье для получения этанола, рассматриваемого как моторное топливо будущего. Потому они и оказались в центре внимания.

На волне всеобщего интереса в 1974 г. по инициативе И.В.Березина начались исследования целлюлаз и на химическом факультете МГУ. И почти сразу были получены результаты, которые никак не укладывались в общепринятые представления.

В те годы еще не были расшифрованы пространственные структуры сотен белков, известные ныне. Поэтому структура

целлюлаз, по аналогии с одним из первых изученных ферментов — лизоцимом из яичного белка, представлялась довольно просто: в виде компактной глобулы с углублением (активным центром), в котором происходит каталитический разрыв целлюлозной цепи. Лизоцим действительно похож на целлюлазы: он хорошо разжижает карбоксиметилхитин — близкий аналог КМЦ — и имеет такой же механизм катализа.

Лизоцим можно выделить из смеси белков куриного яйца аффинной хроматографией. Для этого смесь пропускают через колонку с хитином из панциря креветок. Лизоцим задерживается, а другие белки выходят. Затем колонку промывают раствором вещества (например, карбоксиметилхитина), которое проникает в активный центр адсорбированного на хитине лизоцима и вытесняет его в раствор. Так получают чистый фермент уже без примесей других яичных белков.



Микрофотография поверхности целлюлозы I [12] и схема ее строения [9]. Каждое целлобиозное звено (одно из них выделено цветом) образует четыре водородные связи с соседними молекулами одного слоя. Внутримолекулярные водородные связи стабилизируют каждую цепь, межмолекулярные — прочно сшивают между собой соседние цепи. Целлюлозная молекула нижнего слоя показана черным цветом.

Как открывали хвост

После войны интерес к ферментам Риса долго носил преимущественно академический

Мы тоже попытались выделить целлюлазы аффинной хроматографией. Пропустили раствор образуемых грибом белков через колонку с целлюлозой. И сразу были озадачены: вместе с сопутствующими белками вышло и некоторое количество целлюлаз. Те же, что задержались, повели себя не менее неожиданно — никак не хотели покидать колонку, промытую концентрированным раствором КМЦ. Вязкость выходящего из колонки раствора КМЦ при этом была почти как у воды, значит, молекулы КМЦ, действительно, попадали в активный центр застрявших целлюлаз и там расщеплялись. Стало ясно, что ферменты цепляются за целлюлозу не активным центром, расщепляющим КМЦ, а чем-то иным, с чем КМЦ не взаимодействует. Очевидно, этот дополнительный центр связывания узнает не отдельные молекулы, а поверхность целлюлозы как целое.

Одновременно с нами публиковали свои данные японские исследователи, которые изучали глюкоамилазу (фермент гриба *Aspergillus awamori*, превращающий крахмал в глюкозу), и обнаружили, что и этот грибной фермент прикрепляется к гранулам нерастворимого крахмала вовсе не активным центром, а другим участком полипептидной цепи. С помощью протеазы — субтилизина — удалось вырезать этот участок и проанализировать. Выяснилось, что он содержит 30–40 аминокислотных остатков и до 50% углеводов по массе. Укороченная глюкоамилаза переставала расщеплять гранулы сырого крахмала, но продолжала хорошо переваривать набухший крахмальный клейстер. Впоследствии было установлено, что в среде роста гриба содержится как полноразмерный фермент, так и его усеченные формы [2].

Среди целлюлаз *Trichoderma reesei* также обнаружены ферменты, которые различались

почти на два порядка по эффективности связывания с поверхностью нерастворимой целлюлозы, хотя были одинаково активны по отношению к КМЦ. Это позволило заключить, что не у всех целлюлаз есть обособленный участок, позволяющий им связываться с нерастворимой целлюлозой. Вот тогда и вспомнили о C1-Cx-гипотезе американских исследователей и стали искать взаимосвязь между содержанием прочно связывающихся целлюлаз у разных грибов и их способностью разрушать кристаллическую целлюлозу. Такая корреляция вскоре была обнаружена, при этом оказалось, что дело вовсе не в концентрировании фермента на поверхности целлюлозы: даже 100-кратное увеличение количества плохо связывающихся ферментов не приводило к полному разложению кристаллической целлюлозы, зато с аморфной целлюлозой они справлялись очень эффективно.

Мы предположили, что фрагмент белковой молекулы специфически адсорбируется на поверхности целлюлозы и расклинивает пучки ее микрофибрилл, тем самым помогая проникать молекулам воды, в результате целлюлоза набухает, что в значительной мере облегчает работу ферментам-гидролазам [3]. Такое явление (адсорбционное понижение прочности, или эффект П.А.Ребиндера) широко известно в физико-химической механике. Однако, в отличие от Риса, мы считали, что дело не в специфическом типе ферментативного катализа, а в механическом расслоении целлюлозы на отдельные фибриллы, которые стабилизируются прочно адсорбированными белками, работающими как высокоспецифичные поверхностно-активные вещества. Для проверки своей гипотезы мы стали специально подавлять каталитическое действие прочно связывающихся ферментов снижением температуры и до-

бавлением ингибиторов, однако и в этих условиях обработанная ферментами бумага при сильном встряхивании рассыпалась на отдельные волокна значительно легче, чем без них. Забегая вперед, заметим, что спустя почти 10 лет, в начале 90-х годов, к тому же выводу пришли и канадские специалисты из Ванкувера. Они показали, что выделенный ими сорбционный центр бактериальной целлюлазы хорошо диспергирует кристаллическую целлюлозу и помогает каталитической части фермента расщеплять ее даже в усеченном виде.

В 70-е же годы стало ясно, что белок, который Рис принимал за C1-фермент, в действительности обладает очень слабой, но вполне измеримой способностью к гидролизу целлюлозных молекул с образованием целлобиозы. Поэтому его переименовали в целлобиогидролазу. Так как *Trichoderma reesei* образует еще одну целлобиогидролазу, их обозначили соответственно как целлобиогидролазы I и II. Помимо них у гриба обнаружили от четырех до шести типов эндоглюканаз — Cx-ферментов, отвечающих за разжижение растворов КМЦ [4].

Чтобы выяснить, какие именно ферменты обладают центром прочной сорбции, из набора белков, вырабатываемых грибом, мы сначала отобрали те, которые прилипают к целлюлозе. Полученную целлюлозную пасту нанесли на поверхность пластины геля для изоэлектрофокусирования. Под действием электрического поля ферменты отрывались от неподвижных частиц целлюлозы и выстраивались в геле в соответствии со своими изоэлектрическими точками. Затем их окрасили специфическими красителями и сравнили полученную картину с результатами гельэлектрофореза исходного набора белков.

Выяснилось, что на целлюлозе прочно адсорбируются целлобиогидролазы I и II и эн-

доглюканазы I и II, но не эндоглюканаза III. Наиболее специфичным оказалось именно связывание целлобиогидролазы I — С1-фермента Риса. На основе полученных данных и был сформулирован новый механизм разложения кристаллической целлюлозы. Слабо сорбирующимся эндоглюканазам (усеченным формам эндоглюканаза I и II, а также эндоглюканаза III) отводилась в нем роль ферментов, расщепляющих внешние аморфные области целлюлозы и открывающих внутренние дефекты. Туда проникают прочно сорбирующиеся целлобиогидролазы и эндоглюканазы, расклинивающие пучки на отдельные фибриллы, которые постепенно разрушаются с разных концов целлюлозных молекул.

Как только в 1983 г. в журнале «Biotechnology» была опубликована полная аминокислотная последовательность целлобиогидролазы I [5], наше внимание сразу привлек богатый оксиаминокислотами фрагмент, который мог бы служить местом прикрепления углеводов и сорбционным центром, подобным имеющемуся у глюкоамилазы. Такой фрагмент — 20-членный пептид, в котором, чередуясь с остатками пролина, соседствуют 14 остатков треонина и серина, — находится вблизи С-конца молекулы. Нуклеотидная последовательность, кодирующая С-концевой участок молекулы целлобиогидролазы, отделена от остальной части гена незначительной вставкой (интроном). Все это позволило заключить, что центр связывания у целлюлаз — самостоятельная структура, которая работает подобно якорю, хвосту или клину, а не как капкан, захватывающий молекулу целлюлозы. К сожалению, рукопись заказанного в 1983 г. на эту тему обзора пролежала в издательстве «Наука» четыре года; к тому же научный редактор убрал в окончательном варианте слишком образные сравнения.

А жаль. Впрочем, отличить предвидение от фантазии действительно нелегко.

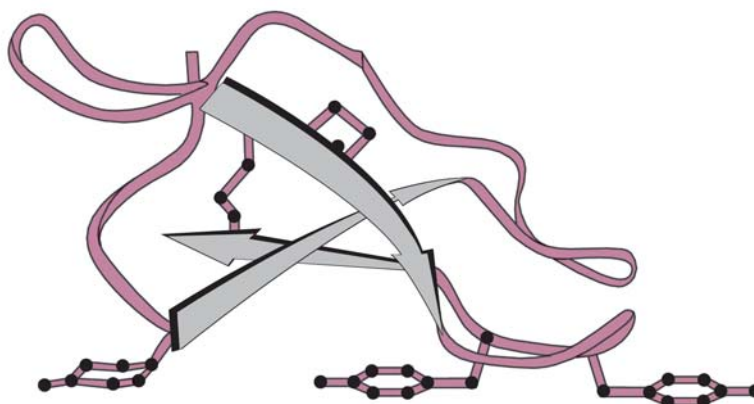
Предсказанная конструкция сорбционного центра давала возможность конструировать самые разные гибридные белки: хвостатые ферменты, антигены, токсины, белковые ингибиторы. На их основе можно было бы создавать биоактивные ткани и перевязочные материалы, специфические тест-системы на полосках бумаги, наконец, фармпрепараты пролонгированного действия на микрокристаллической целлюлозе. Однако отделить от целлобиогидролазы I участок связывания на целлюлозе и определить его последовательность нам не удалось, хотя были испытаны разные протеазы: субтилизин, трипсин, химотрипсин.

Лишь через три года с этой задачей справились в совместной работе специалисты из Бельгии и Швеции. Для этого они использовали протеазу иного типа — папаин. Полученные ими данные в основном подтвердили наши предположения, но не полностью. Богатый пролином и треонином фрагмент, принятый нами за сорбционный центр, оказался линкером — связкой между двумя

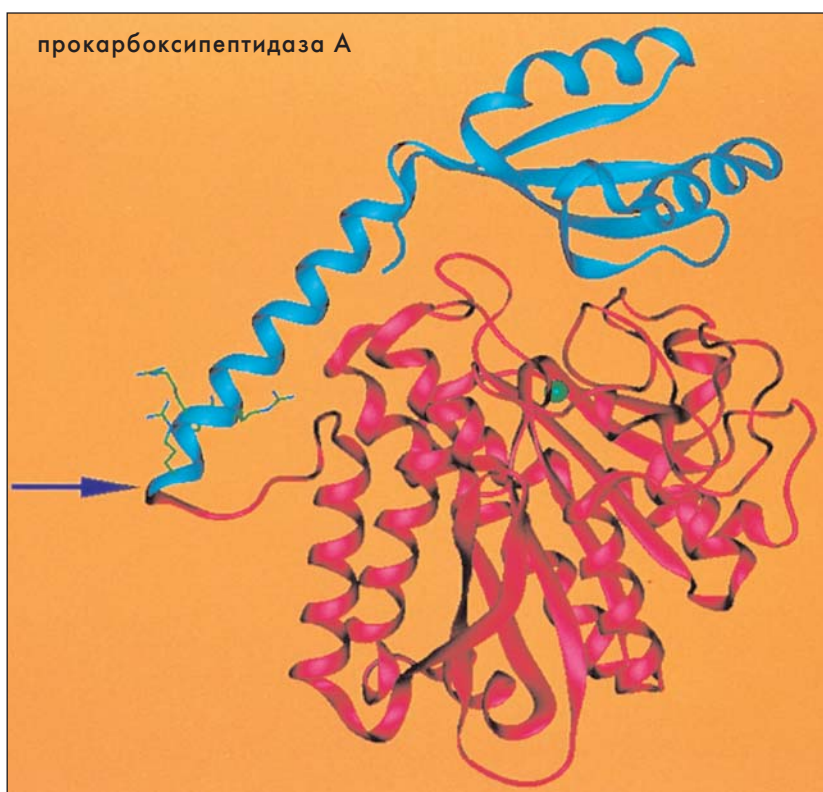
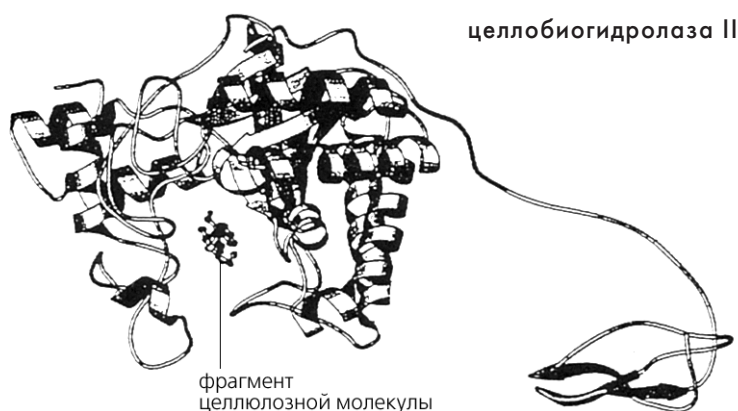
частями молекулы целлобиогидролазы I. Именно там и действовал папаин: он вызывал появление в растворе каталитической части фермента, которую легко увидеть по катализируемой ею специфической реакции с флуоресцентным производным целлобиозы. Хвост же остается на поверхности, откуда его можно смыть детергентом (проще говоря, стиральным порошком). Он оказался 35-членным пептидом, расположенным на С-конце молекулы фермента сразу вслед за линкером. Связывание его с целлюлозой обеспечивали три остатка тирозина [6].

В 1989 г. финские, шведские и американские исследователи совместными усилиями расшифровали пространственную структуру сорбционного центра (или субстратсвязывающего модуля, как теперь говорят) целлобиогидролазы I. Он, действительно, имеет клиновидную форму с двумя плоскими гранями — гидрофильной и гидрофобной, обращенной к поверхности целлюлозы. Линкер, связывающий его с каталитической частью, имеет гибкую (шарнирную) и жесткую (гликозилированную) части [7].

Интересно, что хвостовая часть грибных целлюлаз по сво-



Структура сорбционного центра (целлюлозосвязывающего домена) целлобиогидролазы I [11]. «Лапы» — это три остатка тирозина, непосредственно взаимодействующие с гидрофобными частями остатков глюкозы на поверхности целлюлозы. Стрелками обозначены бета-тяги — элементы вторичной структуры белка.



Примеры хвостатых ферментов [8, 13]. Активный центр целлюбиогидролазы охватывает фрагмент расщепляемой целлюлозной молекулы, как клещами. Небольшой сорбционный центр прикреплен к основной части молекулы через длинный соединительный пептид — линкер. Хвостовой домен прокарбоксипептидазы (выделен голубым цветом) закрывает активный центр фермента (гибкие неструктурированные петли в верхней части каталитического домена, показанного красным цветом). После протеолитической активации (расщепления связующего линкера в области, отмеченной синей стрелкой) хвостовая часть молекулы отделяется и фермент становится активным. Зеленый шарик — ион металла в активном центре, зеленые ломанные «антенны» вблизи сайта расщепления — олигосахариды, ковалентно связанные с белком. Для линкеров, соединяющих разные модули в белках, такое явление (гликозилирование) весьма характерно. Полагают, что это защищает линкеры от «несанкционированного» расщепления неспецифическими «чужими» протеазами.

ей форме очень напоминает совсем, казалось бы, далекий белок — низкомолекулярный ингибитор протеаз из картофеля. Трудно сказать, случайное ли это совпадение. Однако заметим, что ингибиторы протеаз иногда тоже выполняют функции хвоста у ферментов, которые они ингибируют. Так построена, например, панкреатическая прокарбоксипептидаза А. Фермент образуется в неактивном состоянии (как змея, кусающая свой хвост), когда ингибитор «затыкает» активный центр фермента, не давая ему начать работу раньше времени [8]. Расщепление линкера протеазой ведет к отделению хвостового фрагмента и активации фермента.

Сходство пространственных структур белковых ингибиторов ферментов и субстратсвязывающих модулей целлюлаз натолкнуло на мысль о создании гибридных модулей, обладающих теми и другими свойствами. В связывание с целлюлозой вовлечены ароматические остатки, лежащие в бета-тяжах, а в связывание с протеазами — остатки в области гибкой петли. Таким образом, можно пытаться создать химерные белковые ингибиторы малого размера, прочно адсорбирующиеся на целлюлозных подложках. Такие ингибиторы могут найти применение в медицине и фармации как препараты пролонгированного действия.

Ползают ли ферменты?

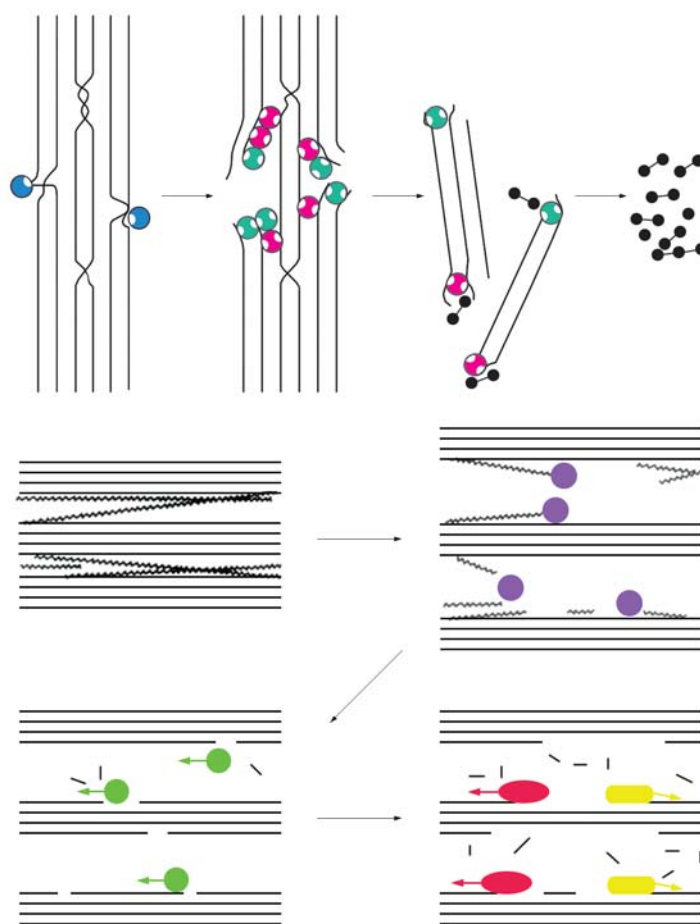
И все же, как работают на гладкой поверхности кристаллической целлюлозы хвостатые ферменты, подобные целлюбиогидролазе I? Этот вопрос вызывает бурные дискуссии уже многие годы. Мысль о том, что «неживая» молекула фермента перемещается по поверхности, кажется фантастической.

Однако можно весьма просто показать, что молекулы хво-

статях ферментов способны, например, прыгать от одной частицы целлюлозы к другой. Для этого удобно использовать окрашенную целлюлозу. По химической природе это та же крашеная хлопковая ткань, только измельченная в пыль. Ферменты срезают с ее поверхности короткие «ворсинки» — олигосахариды, на которых держится краситель: происходит, проще говоря, линька. Это качество целюлаз широко используют при производстве вылинявшей джинсовой ткани, «варенки». Раньше лишнюю краску удаляли в стиральных машинах пемзой. Теперь используют биообразивы — целлюлазы.

Так вот, если посадить хвостатые целлюлазы сначала на частицы обычной микрокристаллической целлюлозы, а затем добавить порошок окрашенной целлюлозы, то сначала ничего заметить не удастся. Но спустя какое-то время (от 15–20 мин до полутора часов, в зависимости от условий) окрашенная целлюлоза начинает линять и в растворе появляются молекулы красителя. Поскольку частицы белой целлюлозы за такой срок не успевают полностью перевариться, это значит, что часть хвостатых молекул «перепрыгнула» с белых частиц на окрашенные и начала там работать.

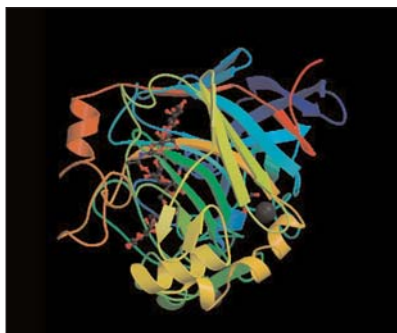
Конечно же, не скука заставляет целлюлазы покидать «обжитую» частицу целлюлозы ради новой. «Приказывает» им равномерно заселять всю доступную поверхность. Второй закон термодинамики, разрешающий в изолированных системах наиболее вероятные процессы. Другое дело, что перераспределение может занимать разное время, в зависимости от того, насколько прочно прикрепляются молекулы к поверхности. Например, чем дольше целлюлазы сидят на белой целлюлозе, тем труднее перескакивают потом на окрашенную. Видимо, «осваивают» дефекты структуры, откуда труднее потом выбраться [9].



Механизм ферментативного гидролиза кристаллической целлюлозы.

Вверху — по представлениям 1984 г. Сначала слабо сорбирующиеся на целлюлозе эндоглюканызы (синие кружки с одним сегментом — активным центром) атакуют внешне неупорядоченные участки целлюлозной фибриллы. В образовавшиеся дефекты проникают прочно связывающиеся эндоглюканызы (розовые кружки с двумя сегментами — активным и сорбционным центрами) и целлобиогидролазы (зеленые кружки также с двумя сегментами), которые расклинивают их и обнажают внутренние неупорядоченные области. Образуются короткие микрокристаллиты, которые расщепляются ферментами с концов (показано действие разных типов ферментов с разных концов кристаллита). В результате образуются молекулы целлобиозы («гантельки»), а также небольшое количество глюкозы и трисахарида — целлотриозы [3].

Внизу — по современным представлениям, разложение пучков целлюлозных фибрилл начинается с удаления связующих неупорядоченных молекул слабо сорбирующимися эндоглюканызами III (фиолетовые кружки), лишенными сорбционных доменов. Далее отдельные фибриллы разрушаются прочно сорбирующимися «хвостатыми» эндоглюканызами I и II (зеленые кружки), которые образуют на поверхности кристаллитов разрывы целлюлозных молекул. Эти разрывы расширяются в разные стороны «хвостатыми» целлобиогидролазами I и II (красные и желтые эллипсы). В результате образуются молекулы целлобиозы, глюкозы и целлотриозы [14].



Структура каталитической части целлобиогидролазы I. Показана укладка фрагмента молекулы целлюлозы в активном центре (PDB код 7CEL). Чтобы такой фрагмент попал в активный центр, его нужно освободить из окружения соседних молекул — разорвать десяток-другой водородных связей.

Много ли успевают сделать ферменты, пока сидят в одном месте? В растворе за полчаса-час каждая молекула разрезает тысячи молекул КМЦ. На поверхности число разрывов во много раз меньше. Часть времени адсорбированные целлюлазы «сидят без дела», и их активные центры могут в это время расщеплять проплывающие мимо молекулы КМЦ. Могут они и захватывать из раствора флуоресцирующие производные глюкозы, пришивая их к поверхности. Эта реакция называется трансферазной активностью. Впрочем, заметить ее можно лишь с помощью специальной техники [9].

Но как же все-таки плотно упакованная цепь целлюлозы попадает в активный центр целлобиогидролазы? Ведь для того чтобы отщепить молекулу целлобиозы, ферменту необходимо оторвать от поверхности конец цепи длиной до 10 глюкозных остатков. Значит, даже у цепей, лежащих на краю поверхности микрокристаллита, нужно разорвать по паре водородных связей на каждое целлобиозное звено. Откуда же берется для этого столько энергии?

По одной из гипотез, целлобиогидролаза использует энергию, выделяющуюся при разрыве гликозидной связи, аналогично тому, как АТФаза миозиновой головки использует энергию гидролиза АТФ для мышечного сокращения [10]. Пока, однако, доказательств этого не получено.

Мы рассматриваем и другой возможный источник энергии. По нашим данным, каталитическая часть фермента обладает очень высоким сродством к изолированному фрагменту целлюлозной цепи длиной не менее четырех глюкозных остатков. В свою очередь сорбционный центр обладает столь же высоким сродством к поверхности целлюлозы. Но целый фермент связывается с целлюлозой лишь чуть-чуть прочнее, чем каждая из его частей. Значит, они связываются или поочередно, или не полностью. Этот вывод можно подкрепить рядом доводов. Во-первых, слишком прочное связывание затрудняло бы высвобождение фермента для нового каталитического процесса. Во-вторых, при ограниченной длине линкера каталитическая и сорбционная части должны мешать друг другу связываться в полную силу, так как первая нуждается в гидратированном конце изолированной молекулы целлюлозы, а вторая в гидрофобных участках гладкой поверхности. В третьих, как уже говорилось, часть сидящих на поверхности молекул имеет не до конца заполненный активный центр. Таким образом, у фермента, видимо, есть резерв энергии связывания: разность между оптимальным и частично ослабленным связыванием обеих частей. Передаточным механизмом, преобразующим этот резерв в энергию, необходимую для разрыва водородных связей вокруг расщепляемой молекулы целлюлозы, может служить упругая деформация жесткой гликозилированной части линкера, не позволяющей обоим доме-

нам одновременно реализовать оптимальное связывание. Ее можно уподобить упругому удилицу, которое постепенно вытягивает «рыбу» (конец целлюлозной молекулы) из «воды» (сетки водородных связей) на «крючке» (каталитическом домене). В этом сравнении «леска» — это гибкая шарнирная часть линкера, а «рыболов» — сорбционный домен [11].

В целлюлазном катализе известно явление, когда сидящий на одном месте «рыболов» вытягивает всю «рыбу», до которой дотянется «леска»-линкер, и остается затем без работы. Его называют непродуктивным связыванием, или обратной инактивацией фермента на поверхности целлюлозы. Чтобы заставить фермент снова работать, можно либо добавить свежей целлюлозы, переманив «рыболова» на новое место, либо срезать «леску» специальной протеазой, как иногда поступает гриб — хозяин фермента. Освобожденный каталитический домен может по крайней мере расщеплять аморфную целлюлозу там, где он до нее не дотянулся бы, оставаясь привязанным к сорбционному домену.

Однако возможен и другой поворот: «рыба» вместе с «крючком» в какой-то момент перетянет «рыболова» и оторвет его от поверхности. Жесткая гликозилированная часть линкера работает при этом как трамплин или качели-перевески. Последовательность событий при этом может быть такой. Сначала связывается сорбционный центр, а каталитический остается свободен. Затем происходит медленный переход в состояние, в котором с целлюлозой связаны оба центра, но лишь частично. Далее снова медленный переход, когда сорбционный центр освобождается полностью, а каталитический полностью заполняется. И лишь затем происходит быстрая каталитическая реакция с выбросом растворимого продукта, сопровождаемая освобождением катали-

тического центра и связывани-ем сорбционного. Потом цикл повторяется.

Не правда ли, похоже на гусеницу-землемера, поочередно подымающую то голову, то хвост при перемещении по поверхности? Или на улитку, несущую за собой свою раковину — каталитический домен. В самом

деле, вместо дискретных стадий может происходить непрерывное «перетекание» ферментного комплекса по пути реакции от начального состояния к конечному, как у гусеницы со множеством ножек.

Разумеется, этот гипотетический механизм, названный нами катерпиллерным катализом,

требует детальной экспериментальной проверки. Но в этом-то и состоит вся прелесть научного творчества. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 02-04-49033 и 02-04-48286.

Литература

1. Reese E.T. Enzyme systems for cellulose. *Biotechnol Bioeng Symp.* 1975. V.5. P.77—80.
2. Hayashida S. // *Agric. Biol. Chem.* 1975. №39. P.2093—2099.
3. Rabinovich M.L. // *Materials of Soviet-Finland Seminar on Bioconversion of Plant Raw Materials by Microorganisms. Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms. Pushchino, 1984. P.31—48.*
4. Wood T.M., McCrae S.I. // *Biochem. J.* 1978. V.171. №1. P.61—72.
5. Teeri T.T., Salovuori I., Knowles J. // *Biotechnology.* 1983. V.1. P.670—673.
6. Tilbeurgh H. van, Tomme P., Claeysens M. et al. // *FEBS Lett.* 1986. V.204. P.223—227.
7. Kraulis P.J., Clore G.M., Nilges M. et al. // *Biochemistry.* 1989. V.28. P.7241—7257.
8. Vendrell J. et al. // *Biophys. Biochim. Acta.* 2000. №1477. P.284—298.
9. Рабинович М.Л., Болобова А.В., Кондращенко В.И. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. Древесина и разрушающие ее грибы. М., 2001.
10. Sinnott M.L. // *Biochem. Soc. Trans.* 1998. V.26. №2. P.160—164.
11. Рабинович М.Л., Мельник М.С., Болобова А.В. // *Биохимия.* 2002. Т.67. №8. С.1026—1050.
12. Baker A.A. et al. // *Biophys. J.* 2000. V.79. №2. P.1139—1145.
13. Suominen P., Reinikainen T. Trichoderma reesei cellulases and other hydrolases. // *Foundation for Biochemical and Industrial fermentation Research.* 1993. V.8.
14. Henriksson G. et al. // *Eur. J. Biochem.* 1999. №259. P.88—95.

Энергетика

Ветровая энергетика в Германии

К концу лета 2002 г. мощность ветряных электростанций в Германии достигла 10 тыс. МВт, что позволило министру окружающей среды Й.Триттину (J.Trittin) заявить: «Мы — чемпионы мира». На долю Германии приходится одна треть мирового производства электроэнергии с помощью ветра. Один киловатт-час ветровой энергии сокращает выделение диоксида углерода примерно на 600 г по сравнению с электростанциями, сжигающими каменный уголь или нефть. При использовании возобновляемых источников энергии Германии удалось избежать выброса в атмосферу 35 млн т различных газов.

Конец бума ветроэнергетики не предвидится, поскольку будущее — за установкой подобных электростанций в море. Однако необходимо подчеркнуть технические трудности подобных проектов. В сентябре 2002 г. под Магдебургом установлена турбина, которая может быть использована для эксплуатации в море. Каждая лопасть изготовлена из армированного стекловолокном материала; при ширине 52 м и длине 6 м она весит 20 т. Гондола, в которой находятся ось, генератор и другие элементы, имеет массу 440 т. На мачту высотой 120 м, требуемую для работы ветряка, такую махину способны поднимать лишь краны специальной конструкции. Но для эксплуатации в море необходимы еще и мощные фундаменты, которые должны уходить на глубину 30 м, чтобы выдерживать напор шторма; требуется

также защита механики и электроники от агрессивных солевых аэрозолей. Для подключения к сети нужны километры морского кабеля. Велики трудности и при самом строительстве. Наконец, обслуживание платформы требует обеспечить условия жизни персонала в море. И тем не менее разработчики ветровых электростанций уверены: при достаточно большой мощности турбин (4—5 МВт) и общем их числе около сотни проекты будут рентабельными.

На разрешение строительства таких электростанций в Северном и Балтийском морях к концу 2002 г. было подано 29 заявок. Однако, по мнению германских разработчиков и производителей ветровых турбин, все трудности можно будет преодолеть не ранее 2006 г.

Deutschland. 2002. №6. S.46—48 (Германия).

Рамейдская

Биологические и исторические тайны рапаны

Ю.И.Кантор,

доктор биологических наук

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

Рапана (*Rapana venosa*) — один из немногих видов моллюсков, который известен каждому, кто хоть раз побывал на Черном море. Но мало кто знает, что этот крупный (до 18 см в длину) брюхоногий моллюск появился там лишь в середине прошлого века. С тех пор, подобно матрешке (восточной игрушке, ставшей традиционным русским сувениром), рапана стала своего рода визитной карточкой Черного моря. В последнее время она популярна не только благодаря яркой внешности, контрастирующей с небольшими и невзрачными черноморскими моллюсками, но и вкусовым качествам мяса. В меню курортных и даже московских ресторанов с корейской кухней можно найти блюда из мяса рапаны.

Исходно рапана обитает в Японском, Желтом и Восточно-Китайском морях, где питается в основном устрицами. В Японском море, например, ее всегда можно найти на устричных банках, которые она покидает только в период размножения. В наших водах на Дальнем Востоке рапана многочисленна, встречается лишь в самой южной части Японского моря. Появление же этого моллюска в Черном море



Рапаны-путешественницы. Слева — очень крупный (высота раковины 162 мм) экземпляр из залива Посьет (Южное Приморье). Справа сверху — из Новороссийской бухты, где рапана впервые была обнаружена в Черном море. Для систематика очевидно, что, несмотря на некоторые отличия в расцветке раковины, черноморская рапана родом из Японского моря. Справа снизу — экземпляр, изображенный в Атласе экспедиции «Венуса» А.Валенсиенна, хранящийся в парижском Музее естественной истории. Нет сомнения, что эта раковина принадлежит к тому же виду, однако где она найдена — до сих пор не ясно.

Фото Ю.И.Кантора и А.В.Сысоева

© Ю.И.Кантор

до сих пор точно объяснить не удается. По предположению Е.И.Драпкина, в 1947 г. случайно обнаружившего рапану в Новороссийской бухте и сообщившего о своей находке на страницах «Природы» в 1953 г., попала она в Черное море вместе с балластными водами судов. Дело в том, что у рапаны достаточно длительная плавающая личиночная стадия — до нескольких недель, благодаря чему личинки не оседали в судовых танках. Однако такое объяснение вряд ли можно считать удовлетворительным. Трудно представить, чтобы судно из Японского моря прошло южным путем, через Индийский океан и Суэцкий канал, без остановок. Кроме того, балластные воды необходимы для сохранения постоянной осадки судна. При переходе через Суэцкий канал из Красного моря в Средиземное, а тем более в Черное, соленость которых (и соответственно плотность воды) намного ниже, необходимо откачивать балластные воды. Поэтому можно было ожидать появления рапаны вначале в Средиземном или западной части Черного моря. Тем не менее скорее всего она действительно вначале оказалась в районе Новороссийска, а затем распространилась на запад.

Как бы там ни было, вселившись в Черное море, вид быстро захватил всю его акваторию, почти полностью истребив устриц. Широко известна печальная история исчезновения Гудатской устричной банки. Однако рапана оказалась очень пластичной и вскоре переключилась на питание другими двустворчатыми моллюсками, в частности мидиями и венеридами. Это, вероятно, способствовало ее быстрому распространению в Черном море. Более того, спустя несколько лет вид проник также в Азовское и Средиземное моря. Но на этом, как выяснилось, дело не закончилось.

В литературе стали появляться данные о находениях вида

то в акватории близ Новой Зеландии (мертвые раковины были найдены в 1972 г.), то в Северном море (в начале 90-х годов). Однако нигде за пределами своего ареала, который теперь включал помимо дальневосточных, Черное, Азовское и Средиземное моря, вид не образовывал стабильных размножающихся популяций.

Летом 1998 г. специалисты Виргинского института морских исследований (США) во время тралений в устье Чесапикского залива поймали два крупных экземпляра неизвестного брюхоногого моллюска и послали их для определения в Музей естественной истории в Вашингтоне. По стечению обстоятельств я оказался в тот момент в музее и немедленно определил их как *Rapana venosa*. Поскольку разведение устриц в Чесапикском заливе традиционно важная отрасль бизнеса штата, неудивительно, что нахождение этого хищного моллюска, представляющего потенциальную опасность для устричных ферм, вызвало серьезное беспокойство. Проблема рапаны на некоторое время заняла первые полосы в местных газетах.

Все добытые в Чесапикском заливе экземпляры рапаны отличались очень крупными размерами, до 15 см, что, судя по темпам роста вида в Японском и Черном морях, свидетельствует о существовании популяции не менее 10 лет. (Поначалу черноморские рапаны также были весьма крупными и очень походили на своих сородичей из Японского моря, однако довольно скоро измельчали и стали значительно быстрее, при меньших размерах раковины, достигать половозрелости.)

Спустя короткое время оказалось, что рапана достаточно многочисленна и широко распространена в заливе, однако, к счастью, как и в Черном море, перешла от питания устрицами к поеданию других двустворчатых моллюсков. В Чесапикском

заливе основной жертвой стал промысловый, хотя и значительно менее ценный, чем устрицы, вид — крупный (60—90 мм) с толстой и прочной раковиной двустворчатый моллюск мерценария (*Mercenaria mercenaria*). Этих двустворок рапаны открывают мускульным усилием ноги. У более мелких (в Черном море) они просверливают отверстие в месте смыкания створок и затем выедают мясо жертвы.

Таким образом, в Чесапикском заливе в течение нескольких лет существует жизнеспособная, размножающаяся популяция рапаны. Генетический анализ, проведенный специалистами из Виргинского института, показал, что рапана попала сюда из Черного моря. По сравнению с другими ее путешествиями бросок через Атлантику можно считать прогулкой. В данном случае проникновение вида в залив с балластными водами кажется значительно более вероятным, тем более что существует активное судоходство между Черным морем и Чесапикским заливом.

Не прошло и года, как появилось сообщение о том, что рапана обнаружена в Уругвае (Южная Америка). Так что путешествие этой улитки по миру пока не закончилось. Следует оговориться, что обычно рапану обнаруживают в том или ином регионе значительно позже ее появления, ведь привлекают внимание крупные особи, возрастом не менее пяти-шести лет. Поэтому не исключено, что современный ареал рапаны значительно больше, чем нам представляется.

Широкое распространение рапаны по акватории Мирового океана (так или иначе связанное с судоходством) уникально для крупных брюхоногих моллюсков. Аналогичный случай произошел с видом того же семейства мурицид *Ocenebra inornata*. Исходно этот моллюск обитает в Восточно-Китайском и Японском морях и, кстати ска-

зять, тоже питается устрицами. Во время интродукции тихоокеанской устрицы он был занесен вначале на северо-восточное побережье США (отмечен в 1976 г.), а затем во Францию (2000). Правда, эта улитка значительно мельче рапаны, не более 3–4 см в длину.

Помимо биологических загадок с рапаной связана и одна историческая. Для того чтобы рассказать эту почти детективную историю, нам придется вернуться в первую половину XIX в.

В 1836 г. из Гавра (Франция) отправилась кругосветная экспедиция на борту фрегата «Венус» под командованием капитана А.А.дю Пети-Туара. Экспедиция продолжалась в течение трех лет, нам же интересен лишь короткий период. С 9 по 25 июля 1837 г. фрегат находился в Гонолулу на Гавайях, а затем отправился на Камчатку. 30 августа корабль ошвартовался в Петропавловске, где находился до 15 сентября, а 18 октября он уже был в Сан-Франциско. В официальной летописи экспедиции нет никаких сведений о стоянках по пути. Не правда ли, интересный маршрут — дважды пересечь Тихий океан для того, чтобы

две недели пробыть в Петропавловске!

Во время экспедиции судовые хирурги Небу и Лекланше, собрали зоологическую коллекцию, в том числе около 400 видов (более 1500 экз.) моллюсков. В 1840 г. коллекция моллюсков была передана в Музей естественной истории в Париже, где хранится до сих пор. В 1846 г. был опубликован Зоологический атлас моллюсков, в котором известный французский зоолог А.Валенсиенн привел очень высококачественные, раскрашенные вручную изображения 86 видов, из них 62 — новые для науки. Причем в подписях указывались только названия видов, но не приводилось никаких данных об их распространении и происхождении экземпляров. Позднее должны были быть опубликованы описания новых видов, но этого так и не произошло.

Среди новых видов оказалось три из российских вод (заменить, что «Венус» был только на Камчатке). Два из них — действительно живущие в Авачинской губе, а еще один — известная нам рапана (которая, правда, описана под двумя названиями — *Purpura venosa* и *Purpura marginata*). А как мы знаем, ра-

пана распространена на север только до Приморья, так что по идее в сборы «Венуса» она попасть не могла.

И самое интересное — если на этикетках остальных моллюсков с Камчатки четко указано «Авача», то на этикетке рапаны отсутствует какие-либо сведения о месте сбора. Причем экземпляры свежие, явно собранные живыми.

Так откуда же могли попасть эти раковины в распоряжении экспедиции и действительно ли они были собраны ею?

Боюсь, окончательный ответ нам получить не удастся. Возможно, моллюски были собраны другой экспедицией и лишь ошибочно включены в Атлас Валенсиенном (правда, никаких сведений о такой экспедиции мне найти не удалось). Но возможно и другое. Что, если «Венус» имел и секретное задание, для выполнения которого он тайно посещал либо Южное Приморье (тогда практически не населенное), либо Корею? Интерес французского военного министерства к новым заморским территориям в XIX в. известен. Так, малакология (наука о моллюсках) может приоткрыть завесу над дипломатическими и политическими тайнами. ■

Космические исследования. Океанология

«Том» и «Джерри» изучают Мировой океан

17 марта 2002 г. специалисты Германии и США вывели в космос два спутника, которым дали имена персонажей известного мультсериала «Том и Джерри». Спутники работают по программе GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment — Эксперимент по исследованию

климата и гравитации), которая направлена на непрерывную и точную оценку ряда параметров, характеризующих состояние поверхностных и глубинных вод Мирового океана. Установленное на них оборудование с большой точностью измеряет слабые вариации гравитационного поля Земли, возникающие при движении водных масс или плавучих льдов Мирового океана. Залог успешного выполнения программы состоит в теснейшей «дружбе» «Тома» и «Джерри», летящих по одной и той же орбите высотой 500 км

с соблюдением между ними строго постоянной дистанции 220 км. Фиксировать флуктуации гравитационного поля Земли позволяет исключительно высокая (несколько микрометров) точность измерения расстояния между спутниками с помощью радиоволн миллиметрового диапазона. Такой двойной полет позволяет обнаруживать глубинные течения, получить данные о циркуляции океанских вод и динамике ледового покрова полярных морей. Sciences et Avenir. 2002. №663. P.11 (Франция).

Феномен марганца на Земле

Е.С.Базилевская

В этом году исполняется 130 лет с того времени, когда на борт «Челленджера», одного из первых исследовательских судов, были подняты из глубин Атлантического океана железомарганцевые конкреции (ЖМК). Почти три года продолжался рейс, принесший немало открытий. Исследованиями были охвачены три крупнейших океана планеты, и впервые стало очевидно, что поднятые конкреции не экзотика и широко распространены в Мировом океане. Однако монография с описанием научных результатов рейса увидела свет только через 15 лет после его окончания [1]. Столько времени потребовалось Дж.Меррею и А.Ренару на обработку и осмысление полученного материала. Многие выводы авторов и их прогнозы актуальны и сегодня.

В России эта публикация стала известна не сразу. В.И.Вернадский в «Очерках геохимии» писал: «При самых различных физико-химических условиях в биосфере — гидросфере и коре выветривания — создается один и тот же результат: происходит концентрация Mn, образование его чистых соединений, не известных в таком количестве и в такой форме в более глубоких слоях земной коры».

© Е.С.Базилевская

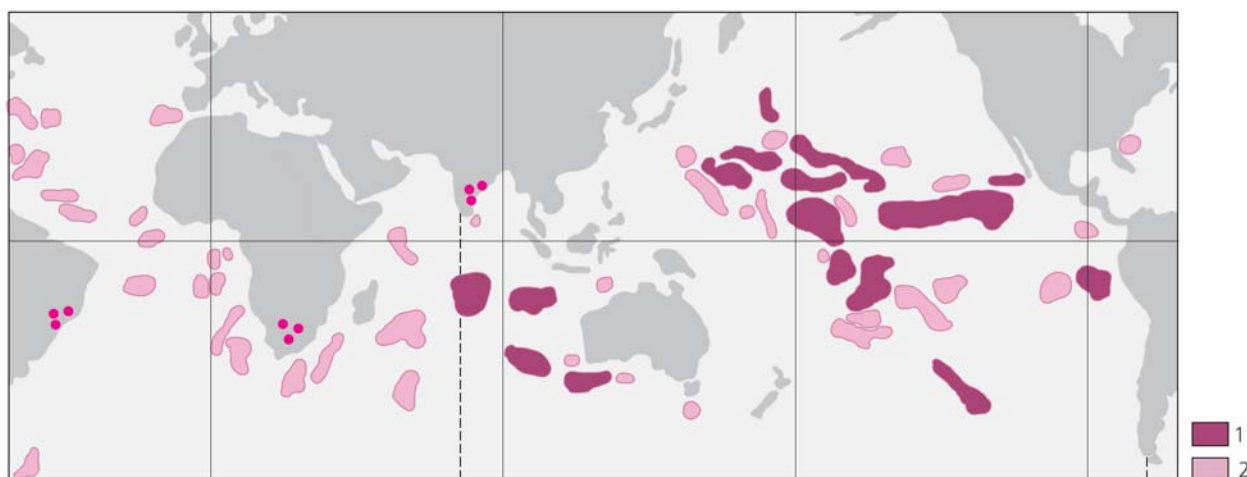


Елена Сергеевна Базилевская, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН. Область научных интересов — океанский рудогенез.

И далее он отмечал, что реками в океан сносятся огромные количества Mn: «Обогащение морской воды Mn, совершаемое в течение веков, должно было бы быть ощутимо, однако не существует никаких признаков какой-нибудь концентрации Mn в океане» [2].

Довольно длительное время конкреции не привлекали к себе особого внимания, хотя находки их продолжались и коллекции пополнялись. Интерес к ним резко возрос в 50–60-е годы прошлого столетия, когда стало ясно, что конкреции — уникальный концентратор не только Mn, но и ряда металлов, имеющих высокую экономическую ценность, таких как Cu, Ni, Co, Zn и др. В сочетании с иссякающими запасами металлов в наземных месторождениях океан-

ские руды, потенциал которых практически неисчерпаем, приобрели новый смысл и стали рассматриваться как руды XXI в. [3, 4]. Большое число исследовательских судов разных стран проводили специализированные рейсы во всех океанах, причем в числе лидеров были и наши отечественные экспедиции. Сначала исследования успешно велись Академией наук СССР, позже — Министерством геологии с более конкретными поисково-оценочными задачами. Результаты работ долго были закрыты от научной общественности. Вспоминается, что закрыты для нас оказались и работы иностранных экспедиций, опубликованные за рубежом в открытой печати. С трудом удавалось получить специальное разрешение для знакомства с некоторы-



Карта распространения рудных полей и площадей железомарганцевых отложений в Мировом океане [5, с упрощ. и доб.]. 1 — $Mn/Fe > 1$; 2 — $Mn/Fe < 1$. Цветные точки — современное положение Mn-месторождений. Штриховая линия — разграничение двух секторов океана, отличающихся накоплением Mn.

ми из них в Спецхране БЕН АН СССР (Библиотеки естественных наук)... В Мингеологии в то время была засекречена даже первая карта распространения и состава конкреций, изданная в США в 1978 г. и привезенная в СССР в нескольких экземплярах. Как же был удивлен чиновник из министерства, когда увидел ее висящей на стене нашего кабинета!

Теперь это все в прошлом, и сейчас открыты даже Металлогеническая карта Мирового океана и превосходная Объяснительная записка к ней, вышедшие в 1998 г. под редакцией С.И.Андреева [5]. Но не только наши внутренние события способствовали рассекречиванию работ, важную роль сыграло принятие Конвенции по морскому праву, подписанной в 1982 г. 119 странами. Минеральные ресурсы океанского дна были признаны «общим достоянием человечества». Конвенция вступила в силу в 1994 г., и за развитыми странами (включая и СССР), внесшими наибольший вклад в изучение проблемы, были закреплены участки в наиболее богатой рудной провинции Кларин-Клиппертон в Тихом океане [4]. Надо ду-

мать, что освоение нового вида минерального сырья теперь уже не за горами.

Хуже дело обстоит с научными исследованиями. До сих пор мы фактически не знаем откуда берутся металлы, связанные в железомарганцевых отложениях (ЖМО), каков механизм формирования конкреций, скорости их роста и др. [6]. И хотя исследований на эти темы опубликовано много (возможно, тысячи), по-прежнему сохраняется дискусионность и неопределенность во многих вопросах. Может случиться, что добыча конкреций и рудных корок начнется раньше, чем будут решены кардинальные проблемы их происхождения и роли в океанской среде.

После выхода в свет упомянутой выше Металлогенической карты (и особенно Объяснительной записки) появилась возможность количественно оценить содержания отдельных металлов, связанных в ЖМО разных океанов. Надо только пересчитать приведенные в таблицах данные по многочисленным рудным полям и площадям и обобщить их. Пока мы сделали это только для одного, самого загадочного и самого главного

руднообразующего металла — марганца. Впрочем, не менее главный и гидроксид железа, но, во-первых, сорбционная емкость его в отношении малых элементов вдвое ниже, чем у гидроксидов Mn, а, во-вторых, распространенность Fe в природе почти в 50 раз выше, чем Mn, что и делает его присутствие в океанских рудах вполне естественным и не столь необычным. Например, кларковое отношение Mn/Fe в горных породах Земли составляет 0.017, а в конкрециях (образовавшихся из продуктов разрушения горных пород) оно — 1.44, т.е. возрастает почти на два порядка! Откуда же берутся огромные массы марганца, связанного в рудных отложениях океанского дна? А разве не удивительны данные таблицы, где приведена оценка прогнозных ресурсов Mn в рудных полях разных океанов? В общей сложности накопления Mn в Тихом океане и восточной части Индийского в 70 раз превосходят накопления в западной части Индийского океана и в Атлантике. Иными словами, по содержанию марганца в железомарганцевых отложениях Мировой океан можно разделить на два резко асим-

метричных сектора — Индо-Тихоокеанский и Индо-Атлантический. Надо отметить, что в Атлантике прогнозные ресурсы Mn вообще весьма бедны и мало перспективны для освоения. Выявление причин отмеченной асимметрии открывает новые пути для решения проблемы океанского рудогенеза.

Данная статья появилась благодаря многолетнему моему участию в геолого-геодинамических и металлогенических исследованиях, проводимых Геологическим институтом РАН в акваториях Центральной и Южной Атлантики. Я признателен Ю.М.Пушаровскому за чтение рукописи и конструктивные замечания.

Проблемы геохимии железомарганцевых отложений

Казалось бы, что само название океанских руд свидетельствует о близости геохимических свойств Fe и Mn, формирующих общие стяжения. Это же вытекает из их соседства в таблице Менделеева. Однако в природе, в зоне гипергенеза (коре выветривания), нет ни одного железомарганцевого минерала. Fe- и Mn-рудные месторождения нередко сопутствуют друг другу, но всегда разделены во времени и пространстве. Причина такого разделения кроется в разнице величин стандартного потенциала окисления — более низкого для Fe и высокого для Mn. Окисление Fe в природной обстановке происходит легче и быстрее.

В океане железо образует собственные минералы или входит в состав других (глинистых) как в окисленной, так и восстановленной (бескислородной) осадочной толще. Марганец же в твердой фазе может существовать здесь только в окислительных условиях в форме свободных гидроксидов высшей степени окисления, близкой к MnO_2 . Но, как правило, происходит сорбционное связывание неко-

Таблица

Площади распространения ЖМО в океанах и оценка прогнозных ресурсов Mn в рудных полях

Океан	Атлантический	Индийский		Тихий
		Западная часть	Восточная часть	
Площадь, тыс. км ²	320	202	615	8094
Mn/Fe	0.98	0.8	1.9	1.6
Ресурсы Mn, млн т	-	206	2070	12014

торого количества (обычно 1—2%) двухвалентного марганца в виде MnO , за счет окисления которого постепенно и нарастает собственная фаза гидроксида. Точнее его состав отражает формула: $nMnO \cdot MnO_2 \cdot mH_2O$. В бескислородных осадках это соединение растворяется, восстанавливаясь до Mn^{2+} , мигрирует к поверхности (в сторону кислородсодержащей среды). Именно так и случается в окраинных районах океанов на континентальном шельфе, где скорости накопления осадков речного стока велики и в их толще создаются восстановительные условия. По существу окраинные районы океанов — это «фабрика», поставляющая растворенный Mn и в меньшей мере Fe в океан. «В меньшей мере» означает не абсолютное количество Fe, а то, что часть его, поступившая с речным стоком, связывается в восстановленном осадке в форме сульфидов или входит в состав других минералов и выводится из океанского рудогенеза. Таков первый этап разделения данных элементов в океане.

В классических трудах Н.М.Страхова показано, как происходит накопление металлов в благоприятных условиях (при высоком содержании растворенного кислорода и низкой скорости седиментации) глубоководных (пелагических) областей океанского дна, где и формируется наибольшее количество конкреций. Аналогичные условия возникают и на вершинах подводных обнажений, не покрытых осадками. В таких слу-

чаях нередко формируются рудные корки, обогащенные кобальтом.

Океанское дно характеризуется высокой мобильностью, при которой реализуется эндогенная (внутриземная) энергия. Это и процессы спрединга (раздвига) в океанических хребтах, и связанная с ними активизация вулканической и гидротермальной деятельности, и процессы субдукции, и др. Все они для ЖМО губительны, так как сопровождаются резким повышением температуры, снижением содержания кислорода в морской воде, а нередко излияниями кислых и восстановленных гидротермальных флюидов. В таких условиях ЖМО растворяются и обогащают морскую воду содержащимися в них металлами. При каждом подобном событии часть Fe остается связанной в нерастворимых минералах в осадочной толще, а Mn мигрирует в окислительную среду морской воды, где происходит его регенерация (переотложение), особенно интенсивная в зоне геохимического барьера на границе осадок — вода.

Итак, главное геохимическое различие Mn и Fe в океане сводится к тому, что Fe образует многочисленные минеральные формы, в которых и выводится из рудогенеза, осаждаясь как в окислительных, так и восстановительных условиях, в то время как Mn находится в твердофазной (гидроксидной) форме только в окисленной среде. Mn имеет замкнутый круговорот в океане. В ходе геологической

истории он многократно может переходить из растворенного состояния в твердофазное и наоборот и каждый раз при этом теряет часть ранее связанного с ним Fe. Насколько резко произойдет их разделение, зависит от времени пребывания Mn в океане.

Таким образом, Mn в значительно большей степени, чем Fe, связан с гидросферой, и судьба его полностью контролируется изменениями физико-химических параметров морской воды (Eh, pH и др.). Для современного океана эндогенные проявления имеют локальный характер, и их последствия быстро нейтрализуются несопоставимо большими массами окисленной морской воды. Жизнеспособность восстановленных гидротермальных флюидов зависит от длительности действия питающих источников. В отдельных случаях они могут функционировать тысячи или десятки тысяч лет, но даже такие величины не идут ни в какое сравнение с многомиллионной историей окисного рудообразования в океане, конечный результат которого — колоссальное накопление Mn.

Краткий обзор особенностей геохимии Mn позволяет понять, почему причины его накопления следует искать не в источниках непосредственной поставки в океан, а в сочетании благоприятных условий для его отложения и длительности существования океана на Земле [7].

История океанского марганценоаккумуляции

Вопрос о том, когда же началось Fe-Mn рудообразование в Мировом океане, неразрывно связан с историей возникновения самого океана.

С одной стороны, осадочный Fe-Mn рудообразование должен быть синхронным с океанским осадкообразованием. С другой, он — процесс современный и проис-

ходит в современных океанах. Наиболее древние осадки там имеют возраст не более 170 млн лет — максимальный возраст сохранившегося донного дна океана, а точнее его мобильного ложа.

Можно ли сейчас найти прямые признаки существования более древних ЖМО? На современном океанском дне этого сделать нельзя по причине его геологической молодости, т.е. обновляемости дна, происходящей в результате нарастания молодой коры в срединно-океанических срединных хребтах, и последующего исчезновения ее, по мере удревнения, в окраинно-океанических зонах субдукции (подныривании под континенты). При этом создаются условия (высокие температуры, отсутствие O₂), в которых Mn растворяется и мигрирует обратно в океан. К сожалению, Mn не несет в себе временной метки, и определить наличие древнего Mn в современных конкрециях и корках невозможно.

По распространенным представлениям, водные бассейны на Земле возникли еще в архее — 4.0–3.5 млрд лет назад, когда в обширных впадинах земной коры начала скапливаться вода, а точнее раствор, образовавшийся при дегазации недр планеты и находившийся в равновесии с породами ложа океана и первичной атмосферой. Слоистые осадки раннеархейского возраста, обнаруженные в Западной Гренландии, Западной Австралии, Южной Африке и Восточной Европе (на Украине), свидетельствуют о существовании в то время терригенного сноса и формирования коры выветривания. Возраст водно-слоистых осадков в Западной Гренландии — более 3850 млн лет. Считается, что тогда не только существовала гидросфера, но и температура поверхности суши была сходна с современной [8]. Иными словами, получены доказательства возможности существования

протоокеанических бассейнов на Земле, а следовательно, и возможного накопления в них осадков. Недавно при изучении изотопии цирконов из обломочных отложений Западной Австралии были получены новые доказательства существования континентальной коры на Земле еще 4.4 млрд лет назад [9]. Предполагается, что упомянутые отложения подверглись низкотемпературному взаимодействию с жидкой гидросферой. Можно привести еще ряд аналогичных данных, полученных в последние два-три года, но думается, что и этого достаточно, чтобы читатель представил себе, насколько древняя гидросфера на Земле.

Все известные палеогеографические (начиная с 3 млрд лет) реконструкции, воспроизводящие расположение древнейших континентов во времени и пространстве, подразумевают присутствие Мирового океана, на фоне которого происходили глобальные процессы создания суперконтинентов. В частности — первого суперконтинента, сформировавшегося в самом конце архея и развивавшегося в раннем протерозое (т.е. спустя 2 млрд лет после появления на Земле признаков существования гидросферы), — Пангеи-0 [10]. С ней связано образование гигантских Mn-рудных месторождений, находящихся сейчас на разных континентах: в Южной Америке (Бразилии), Азии (Индии) и Южной Африке. Считается, что в период 2500–2200 млн лет тектонический режим Пангеи был спокойным. Это был крупнейший спокойный период в истории Земли с очень медленным отложением хемогенно-пелагических осадков [11]. Заметим, что период в 300 млн лет спокойного осадкообразования (а следовательно, и Fe-Mn рудообразования) почти вдвое больше времени существования современного океана. Кроме того, общая масса воды и ее состав уже 2.5–2.0 млрд лет назад были близки

к современным [12]. Исследование древнейших окисленных осадков, вмещающих Mn-рудные отложения в Африке, указывает на присутствие кислородной атмосферы 2.25–2 млрд лет назад [13]. Таким образом, в истории Земли существовал уникальный период не только для накопления ЖМО в океане, но и для развития других форм природы...

Но если в раннем протерозое существовал единый суперконтинент — древнейшая Пангея-0, — то и океан был единым. Предполагается, что переломным моментом в структурном развитии суперконтинента оказался рубеж 2200–2000 млн лет назад, когда началось его дробление и образование нескольких материковых блоков. Однако причина раскола этого континента и дрейфа отдельных блоков остается неясной.

Надо отметить, что приводимые у разных авторов даты, относящиеся к столь отдаленным во времени геологическим событиям, нередко разнятся в пределах ± 100 –200 млн лет. По-видимому, эти неувязки, составляющие 5–10% от абсолютных величин, не очень принципиальны.

Модель образования крупнейших месторождений Mn на суше

А теперь вернемся к вопросу: могут ли быть найдены какие-либо доказательства существования древних ЖМО? Весьма весомое и аргументированное свидетельство существования древнего океана с крупными накоплениями Fe-Mn-отложений — крупнейшие носители основной массы мировых ресурсов этих металлов, раннепротерозойские хемогенно-осадочные месторождения [14]. Сейчас эти древнейшие марганцевые руды находятся на разных континентах. Причем только одно гигантское рудное поле

Калахари (Южная Африка) содержит более 75% мировых запасов Mn.

Модели формирования подобных месторождений подразумевают апвеллинг (подъем) в области континентального склона и шельфа глубинных восстановленных вод, обогащенных растворенными Fe и Mn. Далее — последовательное отложение, сначала (при пониженных величинах окислительно-восстановительного потенциала) Fe-формаций, затем (при возрастании окисленности прибрежных вод) карбонатных и окисных Mn руд [15]. Важно подчеркнуть, что месторождения образовывались в условиях пассивных тектонических окраин за короткий период времени — в промежутке 2300–1900 млн лет назад. Иными словами, все происходило в спокойной геологической обстановке без заметных катаклизмов на суше. Mn-отложениям здесь сопутствуют крупнейшие Fe-формации. Однако причина образования гигантских марганцевых рудных полей не установлена. Это одна из сложнейших загадок, попытка объяснить которую с позиций обычных геологических методов остается пока безуспешной.

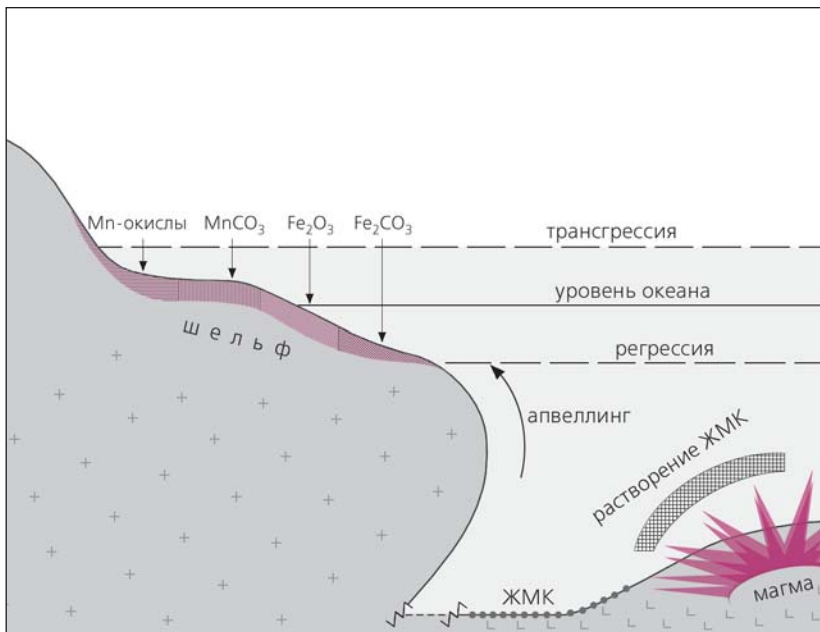
Все известные модели обычно основываются на представлениях о сильном обогащении бескислородных вод раннепротерозойского океана растворенными формами Mn и Fe и появлении начальных стадий окисления в поверхностном слое воды. На границе слоев в соответствии с редокс-реакциями (окислительно-восстановительными) происходит окисление металлов и отложение твердых фаз в шельфовой зоне континентальных окраин [15].

Выше мы приводили данные, свидетельствующие об окисленности вод древнего раннепротерозойского океана. Но не только это препятствует принятию предлагаемых моделей. В частности, считается, что крупные Mn-рудные отложения образу-

ются только при высоком уровне моря, на пике трансгрессии при сильном апвеллинге, выносящем огромные объемы глубинных вод на шельф. Однако сочетание медленного окисления основных масс морской воды и относительно быстрого отложения руд с геохимической точки зрения противоречиво. Нет ясности и в том, что послужило причиной трансгрессии. Данная модель не отвечает также на главный вопрос: почему рудные месторождения не образовались на других окраинах древнего континента, а сконцентрировались в относительно локальных границах? Необходимое условие геологически быстрого образования крупнейших месторождений Mn — предварительная концентрация его в других формах. Скорее всего это были окисные Fe-Mn-отложения, формировавшиеся в окисленных водах раннепротерозойского океана в течение сотен миллионов лет. Каким же образом металлы могли оказаться вынесенными из глубин океана и отложенными на окраине континента в шельфовой зоне? Здесь следует согласиться с нашими предшественниками, считающими, что растворение Mn и Fe произошло в восстановленных (лишенных кислорода) океанских водах.

Не исключено, что резкое, точнее катастрофическое, изменение состава воды могло произойти вследствие падения космического тела на расстоянии в сотни или тысячи километров от берегов. Столь отдаленный от континента эпицентр не мог оставить тектонических следов на суше, несмотря на всю грандиозность события.

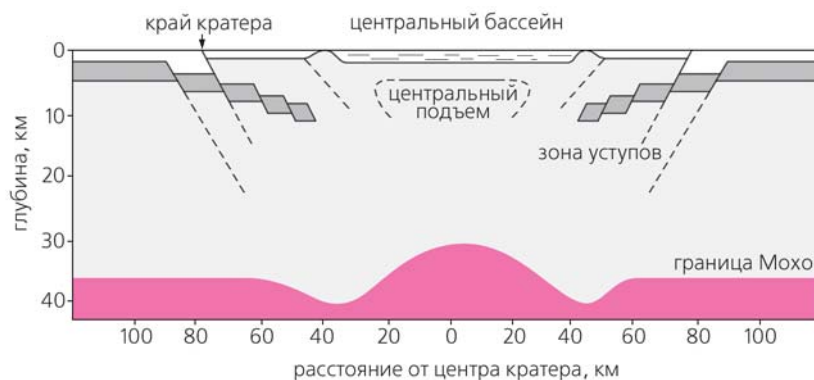
Вероятность падения космических тел в акваторию океана выше, чем на континенты, поскольку океан занимает большую часть поверхности Земли, но до сих пор такие случаи не рассматривались. Существенно должны различаться и последствия падений на континентах, имеющих мощную кору в десят-



Схематическое изображение событий, которые могли произойти ~2 млрд лет тому назад на окраинах раннепротерозойского суперконтинента. В правом нижнем углу изображена вспышка магматизма, вызванная падением астероида в тысячах километрах от окраины континента. Стрелками показан вынос растворенных металлов при подъеме глубинных вод в ходе трансгрессии океана. На разрезе изображена последовательность отложения руд в шельфовой зоне, обнажившихся при регрессии океана.

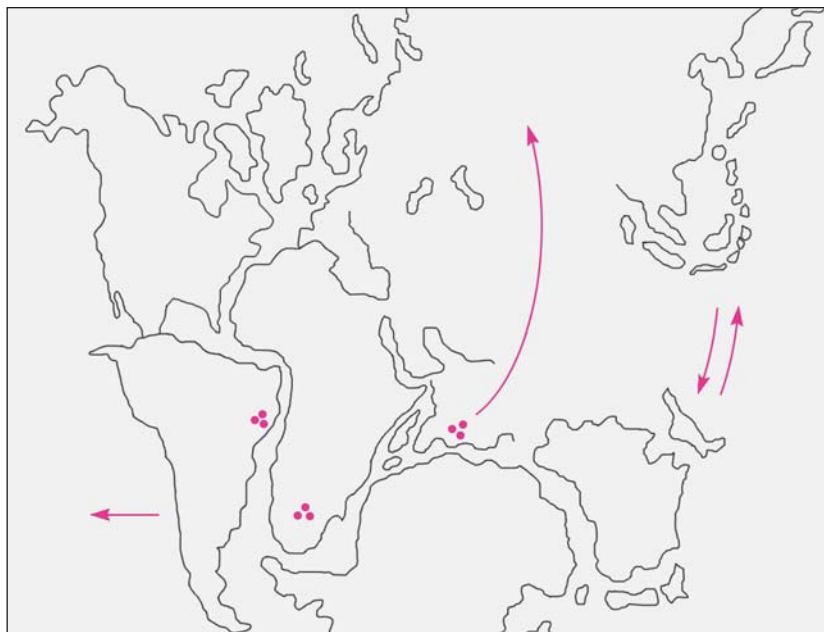


Реконструкция области распространения Mn- и Fe-рудных формаций на окраине протерозойского суперконтинента. Построена с учетом современного расположения кратонов — останцов древней коры. Контур современных континентов нанесены условно.



Морфология кратера Чиксулуб (п-ов Юкатан, США), образовавшегося 65 млн лет назад при ударе астероида о Землю [17]. Первичный кратер имел форму чаши диаметром 100 км и глубиной 30 км. Его структура сохранилась и сейчас. Она состоит из многокольцевых террасированных уступов, заполненных глубинным материалом.

ки километров, и в океане, где даже в глубоководных впадинах толщина океанической коры менее 10 км. Если на континентах мы имеем возможность фиксировать следы ударов астероидов и определять время и масштабы, произошедших катастроф, то океанское дно все скрывает. В то же время падения крупных космических тел в океан должны иметь более грандиозные последствия, поскольку они могут разорвать тонкую океаническую кору и спровоцировать мантийное извержение. При этом резко изменится состав морской воды — из окисленной она станет восстановленной и агрессивной по отношению к ЖМО, которые растворяются. Далее возможен следующий сценарий. Насыщенный металлами раствор в такой период трансгрессии океана выносится возникающими апвеллинговыми течениями на окраины континентов, где и происходит его окисление кислородом атмосферы и раздельное осаждение металлов в соответствии с их редокс-потенциалами. По-видимому, тектонические последствия взрыва постепенно залечиваются, ложе океана оседает и наступает период



Палеорекострукция расположения континентальных блоков 200 млн лет назад в ходе распада Гондваны. Точками показаны раннепротерозойские Mn-рудные месторождения, стрелки указывают направление движения континентальных блоков [17, с упрощ. и доб.].

Интересно, что следы падения крупного астероида, встреченные в породах Китая, Японии и Венгрии, датируются тем же временем (251.4 млн лет). Тогда погибло 70% позвоноч-

ных на суше и 90% обитателей моря [19]. Возможно, что эпицентр и той катастрофы находился в океане.

Раскол Гондваны привел к началу образования современ-

ных Индийского и Атлантического океанов. Этот процесс запечатлен на палеогеодинамической реконструкции расположения континентов 200 млн лет назад, выполненной с учетом данных глубоководного бурения [20]. Конечным результатом последовавших затем событий стало современное расположение континентальных блоков с Mn-рудными месторождениями, а также асимметрия в накоплении марганца в молодых океанах и древнем Индо-Тихоокеанском секторе.

В заключение подчеркнем, что специфика геохимических свойств Mn на суше и в океане открывает новый путь для историко-геологических построений, а также для разработки проблемы рудогенеза на планете. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 03-05-64159); Министерства промышленности, науки и технологий РФ (Федеральная целевая программа «Мировой океан», подпрограмма «Исследование природы Мирового океана»).

Литература

1. Murray J., Renard A. Rep. on the Sci. Res. of the Voyage of the H.M.S. «Challenger». 1873–1876. L., 1891.
2. Вернадский В.И. Избранные сочинения. М., 1954. Т.1.
3. Силкин Б.И. Не переоценить сокровище Нептуна // Природа. 2001. №5. С.53–54.
4. Батулин Г.Н. Рудный потенциал океана // Природа. 2002. №5. С.20–30.
5. Объяснительная записка к Металлогенической карте Мирового океана / Ред. С.И.Андреев. СПб., 1998.
6. Ануфриев Г.С., Болтенков Б.С. Космическая пыль в океане // Природа. 2000. №9. С.21–28.
7. Базилевская Е.С. // Тихоокеанская геология. 1985. Т.43. №4. С.308–323.
8. Nutman A.P., Mojzsis S.J., Friend C.R.L. // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1997. V.61. №12. P.2275–2284.
9. Wilde S.A., Valley J.W., Peck W.H., Grabam C.M. // Nature. 2001. V.409. P.175–178.
10. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). М., 2001.
11. Barley M.E., Pickard A.L., Silvester P.I. // Nature. 1997. V.385. P.55–57.
12. Гаррелс Р., Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород. М., 1974.
13. Gutzmer J., Beukes N.J. // Econom. Geol. 1996. V.91. №8. P.1435–1454.
14. Базилевская Е.С., Пушаровский Ю.М. // Российский журнал наук о Земле. 1999. Т.1. №3. С.205–219.
15. Schissel D., Aro Ph. // Econom. Geol. 1992. V.97. №5. P.1367–1374.
16. Melosh J. // Nature. 2001. V.414. P.861–862.
17. Flannery T. // Science. 2001. V.294. P.1668–1669.
18. Баренбаум А.А., Гладенков Ю.Б., Ясаманов Н.А. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2002. Т.10. №2. С.3–14.
19. Jenkyns H.C. // Oceanus. 1993/94. V.36. №4. P.49–52.
20. О древней катастрофе свидетельствуют благородные газы // Природа. 2002. №5. С.85.

Невидимые миру факты, или «Говорящие» атомы и молекулы в палеонтологии

А.Ю.Журавлев

Нынешняя палеонтология из сугубо описательной науки преобразуется в систему познания событий, приведших нашу планету в ее теперешнее состояние. Статистические методы переводят бессистемно накопленные материалы в источник полезных сведений [1]. Но это еще не все. Современную палеонтологическую лабораторию трудно представить без множества точных приборов, позволяющих выявить то, что не под силу увидеть даже с помощью мощных микроскопов. Благодаря этим приборам удастся разобрать ископаемые раковины и кости на отдельные молекулы и атомы (в основном изотопы).

Конечно, при словосочетании «ископаемая молекула» большинство читателей сразу вспомнит незадачливых героев «Юрского парка», решивших восстановить динозавров по ошметкам ДНК, извлеченным из остатков мезозойского кровососа, влипшего в янтарную смолу. («Клонирование» самого «Парка юрского периода» тоже не очень задалось.) Увы, радужные перспективы извлечения ископаемой ДНК, казавшиеся столь достижимыми всего 10 лет назад, сильно поблекли. Все ДНК миллионлетней дав-

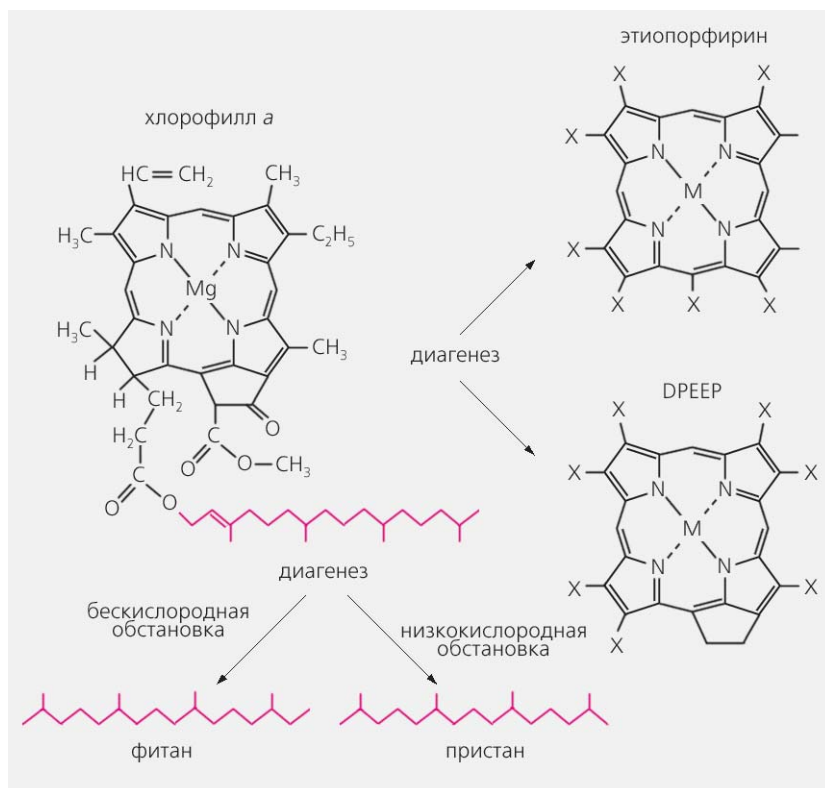


Андрей Юрьевич Журавлев, доктор биологических наук, специалист в области палеонтологии кембрия. Был ведущим научным сотрудником в Институте палеонтологии РАН, затем работал в Министерстве природных ресурсов Российской Федерации, сейчас — сотрудник издательства «Аванта+». Монографии: «The Ecology of the Cambrian Radiation» (в соавторстве с Р.Пайдингом; N.Y., 2000), «Atlas of the Evolving Earth» (Detroit, 2001), «До и после динозавров» (Новосибирск, 2002). Неоднократно публиковался в «Природе».

ности и даже многие из тех, возраст которых исчисляется тысячелетиями, оказались пресловутыми загрязнениями. Попадание современных молекул (бактериальных, человеческих) в исследуемый материал неизбежно. Эти молекулы, будучи посвежее, и амплифицируются («размножаются») более удачно.

Забавный случай произошел с ДНК из меловых угленосных отложений США. Выделенные из динозавровой кости молекулы отличались от ДНК как млекопитающих, так и пресмыкаю-

щихся. «Вот она настоящая ДНК динозавров!» — воскликнули наши американские коллеги, поскорее опубликовали сенсационные данные в ведущих научных журналах и... опять ошиблись. Неведомая ДНК оказалась просто человеческим интроном, как все интроны, мало интересным и поэтому практически неизученным. Теперь представьте себе сюжетец. Молодой ученый с горящими глазами успешно амплифицирует, а затем на лабораторных задворках клонирует такую ДНК, скажем, в геноме лягушки. В ре-



Превращение хлорофилла а в биомаркеры (по М.Молдовану). DPEEP — диоксофиллоэритроэтиопорфирин, М — ванадий или никель, Х — водород или гидроксильная группа.

зультате он получает из пробирки себя любимого или свою лаборантку, тоже любимую, или своего не менее почитаемого учителя. Дальше расписывать можно что угодно: Царевну-лягушку, Пигмалиона, Франкенштейна или Голубую луну на худой конец. (С.Спилберг с М.Крайтоном — создатели книжного и киношного вариантов Юрского парка — отдыхают!)

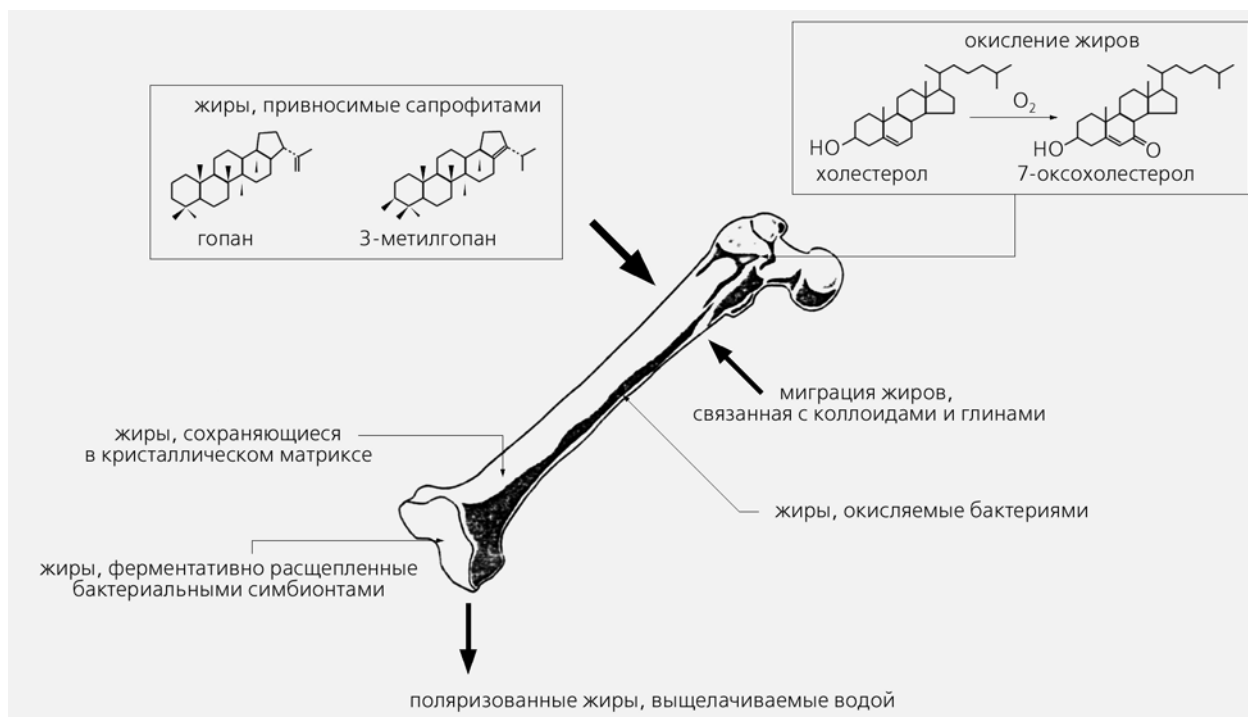
К сожалению, получить более или менее сносные остатки ДНК из ископаемых материалов возрастом более 100 тыс. лет невозможно. А хорошую (достаточно ископаемую) ДНК редко удастся извлечь даже из египетских мумий, которым всего-то немногие тысячи лет. Для палеонтологов — не возраст! Клонировать же подобные остатки и вовсе бессмысленное занятие. Поэтому, когда наши газеты с восторгом пишут, что еще один сибирский мамонт поехал во Францию или Японию для клонирования, — это

означает, что он был попросту незаконно вывезен. А существующая исключительно в нашей стране необходимость получить «ветеринарный сертификат» на ископаемые кости — дань (во всех смыслах этого слова) чиновничьему беспределу. Палеонтологический институт РАН не смог, например, везти из Монголии ископаемые остатки, которым более 70 млн лет. Не знаю точно, чем руководствовались наши министерства, создавшие сей документ, но это могла быть только самая бульварная фантастика.

И все же бросать поиски хотя бы остатков ДНК не стоит. С помощью ископаемых молекул удалось, скажем, показать, что новозеландский моа не был родственником киви. Это значит, что бескрылые птицы (ратиты) развивались на Новой Зеландии по крайней мере дважды. Сумчатый лев (тилацин) не произошел от южноамериканских сумчатых хищников, а появился независимо от них. На-

конец, неандертальца действительно можно считать иным человеческим видом [2].

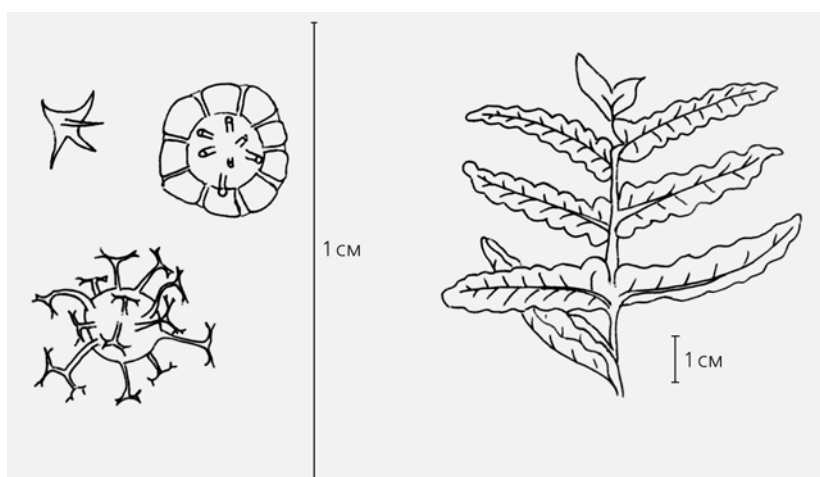
Однако, кроме ДНК, есть и другие «говорящие» молекулы. С их помощью можно решать не менее интересные задачи. Называются эти молекулы биомаркерами (т.е. следами живого) и давно используются для определения источников и путей миграции нефти. Палеонтологи заинтересовались ими не так давно. Биомаркеры, конечно, представляют собой лишь остатки молекул, но достаточно своеобразные, чтобы восстановить всю цепочку миллионлетних преобразований и вычислить молекулу-предшественницу. Так, хлорофилл а распадается (в разных обстановках) на диоксофиллоэритроэтиопорфирины, этиопорфирины, пристан и фитан. Эти ароматические и алифатические углеводороды могут существовать почти вечно и, будучи извлечены из породы, укажут на присутствие фотосинтезирующих организ-



Посмертный цикл жировых накоплений.

мов, даже если от них самих не осталось ничего опознаваемого другими методами. Довольно устойчивы остатки жиров. (Проблемы с нерасщепляемыми накоплениями холестерина в виде бляшек всем хорошо известны.)

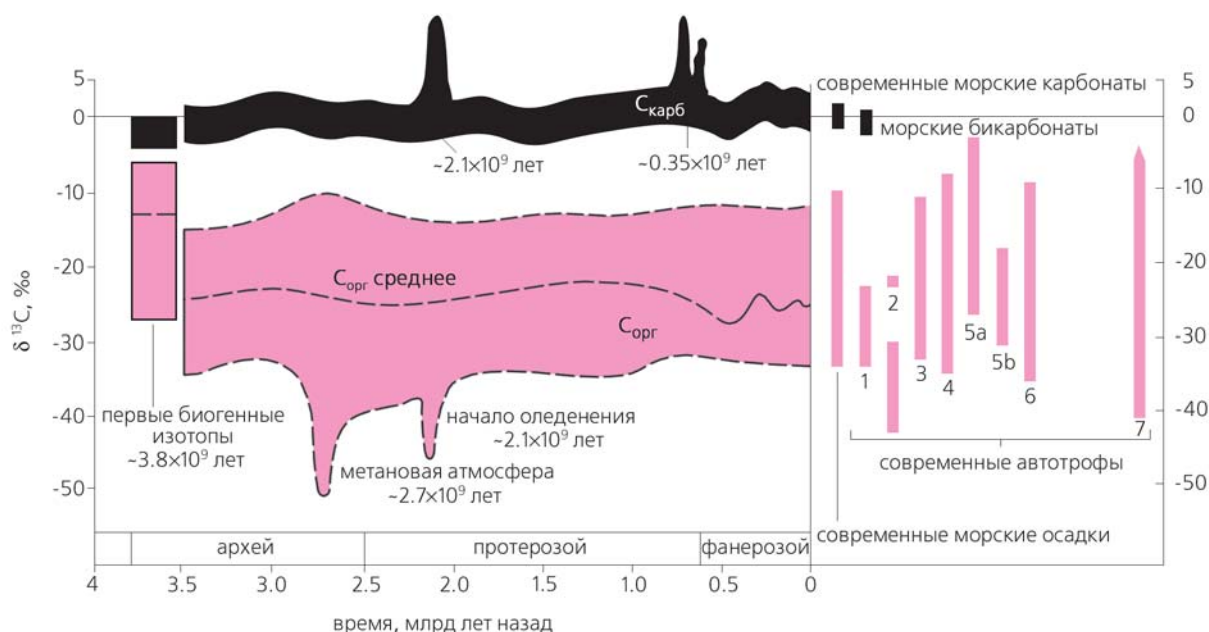
Только с помощью биомаркеров удалось доказать, что 2.7 млрд лет назад (в архее) на Земле действительно жили не только цианобактерии (о них свидетельствуют метилгопаны), но и эвкариоты [3]. Последних, конечно, выдали остатки жиров — высокоуглеродные стерены, особенно холестен, «привязанный» к холестерину. Древнейшие многоклеточные животные, скорее всего губки, судя по биомаркерам (24-изопропилхолестанам) существовали уже 1.8 млрд лет назад [4]. Это более чем на миллиард лет превышает возраст достоверных губочных скелетных остатков. Сходным образом, хотя и не столь сильно, отличаются по возрасту древнейшие окамене-



Древние акритархи (слева) и гигантоперис.

лоти цветковых растений (конец раннего мела) и их биомаркеры — олеанины (середина юры). Мало того, такие же биомаркеры извлекли из загадочного пермского растения-гигантопериса, которое относили к различным голосеменным или их предшественникам [5].

Данный случай показывает, что в настоящее время биомаркеры можно распознавать не только в валовой горной породе, но и в конкретных, даже микроскопических остатках. Так смогли выяснить природу ряда акритарх — загадочных вымерших планктонных организмов.



Соотношение стабильных изотопов углерода в геологической летописи (слева) и степень их фракционирования различными группами организмов. Самые низкие величины $\delta^{13}\text{C}$ соответствуют степени фракционирования изотопов органического углерода метанобразующими бактериями [7]. Пики на верхней кривой показывают, насколько ускорились темпы его захоронения в виде карбонатов (когда в атмосфере уже появился кислород) в связи с расколом суперконтинентов и образованием прогибов. 1 — C_3 -растения, 2 — C_4 -растения, 3 — метаноксиляющие бактерии, 4 — водоросли, 5 — бактерии (а — в естественных местообитаниях, б — в культурах), 6 — анаэробные фотосинтезирующие бактерии, 7 — метанобразующие бактерии (по М.Шидловски). $\delta^{13}\text{C}$ — величины $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, рассчитанные по отношению к стандарту, которым служит ростверк белемнита из меловой формации Пи-Ди (США), $\text{C}_{\text{орг}}$ — органические породы, $\text{C}_{\text{карб}}$ — карбонаты.

Сначала обнаружилось закономерное совпадение в геологической летописи акритарх, диностеренов и триароматических диностероидов — соединений, характерных для планктонных одноклеточных водорослей-динофлагеллат. А затем эти же биомаркеры получили прямо из акритарховых оболочек [6].

Почти все, что мы знаем о земной жизни в течение первых трех миллиардов лет ее развития, установлено благодаря исследованиям биомаркеров и стабильных изотопов углерода, азота, серы и некоторых других элементов. Соотношения устойчивых изотопов в земной коре почти постоянны. Лишь живые существа, сами не отличающиеся особым постоянством, способны нарушить

его. Меняется первичное соотношение изотопов, например, за счет фотосинтеза и хемосинтеза. При фотосинтезе из обращения изымается легкий изотоп углерода (^{12}C), который накапливается в органических веществах. Среда, соответственно, обогащается более тяжелым изотопом (^{13}C), что практически навечно запечатлевается в осадке. Обнаружив в горной породе изотопные отличия между органическими остатками (обычно керогенами) и вмещающими отложениями (карбонатами), можно не сомневаться, что к этому «приложили руку» фотосинтезирующие организмы.

Даже если осадок впоследствии будет основательно прокален (при температуре 500°C и давлении в 5000 атмосфер)

и первичное содержание изотопов не сохранится, их соотношение изменится закономерным образом. Изотопный сигнал высветил, что жизнь на Земле существует более 3.8 млрд лет [7, 8]. Изотопные микропробы, взятые точно из окаменевших бактерий возрастом 2.1 млрд лет, подтвердили, что это действительно остатки фотосинтезирующих цианобактерий [9]. Иначе как вообще определить, что это за бактерии, если они все на одно «лицо»? (Тут ни сканирующий микроскоп, ни заклинания некоторых наших членов-корреспондентов о пользе «бактериальной палеонтологии» не помогут.)

Изотопная летопись углерода намекает, что содержание в атмосфере метана было высоким вплоть до времени, отстоящего

от нашего на 2.7 млрд лет [10, 11]. (Метан, наверное, и служил основным утеплителем Земли, когда Солнце было молодым.) Дело в том, что в органических породах, образовавшихся в морских и наземных (коры выветривания) условиях ранее этого времени, содержится исключительно мало тяжелого изотопа углерода. Значит, метаноксиляющие бактерии, наиболее успешно отбирающие легкий изотоп, ни в чем себе тогда не отказывали. Заметный скачок в соотношении изотопов серы ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) около 2.5 млрд лет назад свидетельствует о переходе ее круговорота под контроль организмов (главным образом сульфатредуцирующих бактерий). А примерно 0.4 млрд лет спустя произошел крупный (на целых 13 единиц) сдвиг в соотношении углеродных изотопов. Его связывают с установлением более кислородной атмосферы и появлением кислородного дыхания, которые не могли не повлиять на окисление органического вещества и, как следствие, на ускоренные темпы его захоронения, что данный сдвиг и отражает. Не случайно в породах этого же возраста начинают встречаться видимые остатки многоклеточных организмов (скорее всего, водорослей). Наконец на границе протерозоя и кембрия (около 550 млн лет назад) изотопные кривые углерода и серы приобрели типичный пилообразный вид, зеркально отражая друг друга. Биогеохимический цикл, вследствие распространения морской макрофауны и особенно организмов, перерабатывающих осадок, приобрел свой прежний вид.

Вообще все крупные рубежи в эволюции биосферы, такие как появление кембрийских скелетных организмов, пермь-триасовое и мел-палеогеновое массовые вымирания, сопровождались резкими скачками в соотношении изотопов серы и углерода, вероятно, вследствие крупных перестроек в трофических цепях.

Изотопы могут поведать и о менее значимых явлениях. Например, о температуре тела динозавров. После находок обширных динозавровых захоронений на Аляске споры о принадлежности динозавров к теплокровным или холоднокровным животным не затухали. Хорошо бы, конечно, измерить температуру у самого динозавра. Оказалось, можно и это, причем без всякого клонирования, а с помощью опять же изотопов [12, 13]. В данном случае — кислорода. Известно, что величины соотношения его стабильных изотопов $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в осадках (на этот раз не геологических, а метеорологических) закономерно уменьшаются от экваториального пояса к полюсам (промилле на каждые 4°C приповерхностных температур). Происходит так потому, что при испарении воды из ручьев и луж, и изотопы «застревают» в зубах. Конечно, на самом деле они, пройдя через обмен веществ в организме, откладываются вместе с фосфатом кальция в зубной эмали. В организмах теплокровных (к примеру, млекопитающих) и холоднокровных (скажем, крокодилов) изотопная пропорция приобретает несколько различающиеся величины. В результате прямые линии, проведенные по этим значениям вдоль оси низкие—высокие широты для каждой из названных групп, будут иметь разный наклон. Так вот, прямая, построенная с использованием данных по кислородным изотопам из динозавровых костей, столь же круто наклонена, как у млекопитающих. Для крокодилов же — более полого.

Можно подойти к решению данного вопроса и с другого конца. У теплокровных животных температура примерно одина и та же по всему телу. (Градусник, не боясь ошибиться,

можно вставлять и под мышку, и в рот, и еще кое-куда.) Иначе у холоднокровных. У них конечности и другие выступающие части, как правило, холоднее. (Может быть, именно поэтому у китайских пернатых динозавров оперение в первую очередь появилось на лапах и хвосте?) Пускаем в ход уже знакомые изотопы кислорода и по их соотношению меряем температуру в конечностях (фалангах пальцев) и теле (основном скелете) позднемеловых динозавров. Все величины немного отличаются. Юный растительный гипсилофонт больше полагался на внешнее тепло, но перепад температур в частях его тела был меньше, чем у холоднокровных той же размерности. Небольшой протоцератопс оказался довольно «теплокровным», а подросток цератопс сохранял почти постоянную температуру. Крупный (7–9 м длиной и около 5 т массой) гадрозав отличался среди них самым высоким уровнем обмена веществ, т.е. был самым теплокровным. Значит, скорость обмена веществ у позднемеловых динозавров была выше, чем у современных пресмыкающихся, но еще не такой высокой, как у млекопитающих и птиц. Этого как раз достаточно для сохранения почти постоянной температуры тела при внешних изменениях температур в пределах $10\text{--}15^\circ\text{C}$, как в безморозном позднемеловом климате.

Собственно климат, главным образом температура, тоже восстанавливается по кислородным изотопам. Особенно для тех периодов, когда наземная растительность — самый лучший индикатор палеотемператур — еще не распространилась широко. Хотя живые организмы прямого отношения к разделению этих изотопов не имеют, раковины некоторых видов служат довольно надежным хранилищем первичной изотопной летописи. Так, используя рако-

вины замковых брахиопод, образовавшиеся из низкомагнезильного кальцита, мало подверженного вторичным изменениям, построили кривую падения температур для ордовикского периода. Оказалось, что позднеордовикское оледенение было действительно кратковременным (всего каких-то 500 тыс. лет) и внезапным. Резкое охлаждение планеты, вероятно, и послужило причиной одного из самых массовых вымираний в истории Земли. Выжили в основном холодноводные сообщества, сдвинувшись к экватору.

Падение температур наблюдается и в конце неогенового периода. Для этого интервала лучшими индикаторами служат раковины фораминифер. Сопоставляя изотопные данные по бентосным и планктонным фораминиферам для разных океанов, можно довольно точно выявить изменения температур и соотносить их с понижением содержания углекислого газа в атмосфере. Этот процесс привел к распространению на суше трав, привычных к дефициту углекислого газа, поскольку они используют несколько иную цепь фотосинтетических реакций. Их называют C_4 -растениями, так как у них первичные продукты фотосинтеза — четырехуглеродные соединения. К таким растениям принадлежат многие травы тропических и умеренных широт. (Большинство деревьев, кустарников и высокогорных трав относятся к C_3 -растениям.)

Травы сохраняются в ископаемом состоянии плохо, и о развитии самой продуктивной наземной экосистемы (травянистых ландшафтов) можно судить по изотопам углерода и азота из костей и зубов млекопитающих. Соотношение изотопов углерода отражает, каких растений было больше (C_4 или C_3), а изотопы азота ($^{15}N/^{14}N$) дают некоторые представления о продуктивности палеосообщества. Попутно можно отследить пищевые

предпочтения давно вымерших растительноядных животных. У тех млекопитающих, которые любят ощипывать древесные листочки (например, у жирафа и слонов), в зубах накапливается относительно мало тяжелого изотопа кислорода [14—16]. Зато у тех, кто пасется, не поднимая головы (зебры и антилопыгну и др.), его присутствие заметно.

Если бы не изотопы, мы не только не узнали бы, когда на Земле появились первые фотосинтезирующие организмы, но и когда зазеленела травка. Характерные для трав изотопные соотношения наблюдаются лишь в зубах среднеогеновых млекопитающих. В Южной Америке травянистые ландшафты, возможно, стали обычны даже раньше. (Поскольку все в конечном счете оказывается в море, изменения в соотношении углеродных изотопов проявляются даже в раковинках фораминифер того же возраста.) Однако зубной изотопный расклад не единственное средство поиска того, от чего не сохранилось никаких остатков. Летопись ископаемых почв тоже прекрасно отражает развитие травянистых сообществ. Никакую траву совершенно невозможно оторвать от ее почвы. Изотопные особенности почв свидетельствуют, что в конце палеогенового периода стали появляться пустоши с разбросанными там и сям кустарниками и куртинами трав. (К этому могли приложить тяжелую ногу некоторые растительноядные динозавры — гадрозавры и завроподы.) В начале неогенового периода зацвели маргаритки и бобовые, а к середине раскинулся ковер разнотравья. Сходная цепочка событий выстраивается по углеродным изотопам, извлеченным из растительных биомаркеров.

Вообще, сопоставляя изотопные (атомные) и биомаркерные (молекулярные) данные, можно получить очень интересные результаты. В отложе-

ниях Экваториальной Атлантики, накопившихся за последние 200 тыс. лет, проследили, как менялось содержание скелетных остатков кокколитофорид и динофлагеллят, их же биомаркеров (алкенонов и диностеренов, соответственно) и соотношения кислородных изотопов в раковинах планктонных фораминифер. Последние, как упомянуто, показывают изменение палеотемператур. Оказалось, что температурные минимумы очень точно совпадают с максимумами обилия планктонных водорослей [17, 18]. Их биомаркеры не только независимые показатели наличия водорослей, но и степени их продуктивности, которая связана с выделением диметилсульфида. Это вещество, содержащее серу, поступая в атмосферу, распадается на компоненты, способствующие усилению облачного покрова, в результате чего повышается земное альбедо. А это ведет к понижению температуры до уровня, оптимального для роста данных водорослей.

Неужели лавлоковская гипотеза Геи, над которой в последнее время принято смеяться, все-таки не просто гипотеза, и растения (особенно водоросли) — главные регуляторы климата? А почему бы нет? Крупнейшим позднепротерозойским оледенением предшествовало бурное развитие акритарх (водорослей, содержащих диностерол). Необычное позднеордовикское оледенение, случившееся в условиях «теплой» Земли, сопровождалось всесветным образованием отложений с исключительно обильными остатками водорослей. (Правильнее следует сказать, конечно, наоборот: накопление таких отложений сопровождалось оледенением.) Что каменноугольно-раннепермское похолодание и распространение особого типа лесов совпадали неслучайно, почти никто уже не оспаривает. Нужно только придумать, как получить независимые данные,

подтверждающие или опровергающие предположение о тесной связи растительности с климатом и о ведущем факторе в этой связи.

Может быть, опять помогут биомаркеры и изотопы? Пока

же они подсказывают, что эвтрофные условия вполне могли привести к позднедевонскому массовому вымиранию. Что доломит, прежде считавшийся исключительно диагенетическим минералом, образуется также

биогенным путем в естественных условиях. Что прямоходящие двуногие приматы проживали в высокогорном лесу прежде, чем выйти на степные просторы. И много чего еще. Было бы желание узнать. ■

Литература

1. Журавлев А.Ю. // Природа. 2001. №9. С.51—56.
2. Wayne R.K., Leonard J.A., Cooper A. // Annu. Rev. Ecol. Syst. 1999. V.30. P.457—477.
3. Brocks J.J. et al. // Science. 1999. V.285. P.1033—1036.
4. McCaffrey M.A. et al. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1994. V.58. P.529—532.
5. Молдован М. Доклад на XXXI сессии. Международного геологического конгресса. Бразилия, 2000.
6. Moldovan J. M. et al. Molecular fossils demonstrate Precambrian origin of dinoflagellates // The ecology of the Cambrian radiation / A.Yu.Zhuravlev, R.Riding. N.Y., 2000. P.474—493.
7. Schidlowski M. et al. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1979. V.43. P.189—199.
8. Mojzsis S.J. et al. // Nature. 1996. V.384. №6604. P.55—59.
9. House C.H. et al. // Geology. 2000. V.28. №8. P.707—710.
10. Hayes J.M. Global methanotrophy at the Archean-Proterozoic transition // Early life on Earth / S.Bengtson. N.Y., 1994. P.220—236.
11. Pavlov A.A. et al. // Geology. 2001. V.29. №11. P.1003—1006.
12. Barrick R.E., Showers W.J. // Palaios. 1996. V.11. №2. P.295—305.
13. Fricke H.C., Rodgers R.R. // Geology. 2000. V.28. №9. P.799—802.
14. Cormie A.B., Schwarcz H.P. // Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol. 1994. V.107. P.227—241.
15. Retallack G.J. // Palaios. 1997. V.12. №4. P.380—391.
16. MacFadden B.J. // Annu. Rev. Ecol. Syst. 2000. V.31. P.33—59.
17. Huang Y. et al. // Science. 2001. V.293. №5535. P.1647—1651.
18. Henriksson A.S. et al. // Geology. 2000. V.28. №6. P.499—502.

Для установления путей миграций казарок (*Branta bernicla*) из Канады, Гренландии и Исландии в Канадскую Арктику британские орнитологи окольцевали миниатюрными радиопередатчиками пять птиц, одна из которых получила кличку Керри. Однако радиосигналы от Керри вскоре перестали поступать. Орнитологи попытались найти птицу в районе пос.Резольют-Бей (Канадский Арктический архипелаг), но приемник по-прежнему молчал.

Дальнейший поиск привел ученых на главную улицу поселка, где сигнал появился; при движении по улице он усиливался и привел в дом охотника-иннуита. Керри лежала в холодильнике хозяина дома.

Sciences et Avenir. 2002. №668. P.40 (Франция).

Биолог Ш.Мак-Кенна (Sh. McKenna) с группой сотрудников ассоциации «Conservation International» три недели работали над составлением списка видов морской флоры и фауны о.Мадагаскар. За это время они открыли девять новых видов кораллов и три — рыб, относящихся к семейству помацентровых (*Pomacentridae*). Такое число находок — сильный аргумент в пользу необходимости усилий по сохранению биоразнообразия не только наземной, но и морской биоты крупнейшего острова Индийского океана.

Terre Sauvage. 2002. №174. P.23 (Франция).

Вблизи восточногерманского города Небра банда грабителей в 1999 г. нашла и вскрыла древнюю астрономическую обсерваторию. В феврале 2002 г.

их задержали во время сбыта награбленных предметов, среди которых оказалась исполненная на бронзе карта звездного неба диаметром 30 см. Карта и позволила определить, что возраст обсерватории 3600 лет.

Sciences et Avenir. 2002. №668. P.12 (Франция).

Самым мелким животным среди 23 000 известных видов рептилий, птиц и млекопитающих стала ящерица *Sphaerodactylus ariasae*, открытая на одном из островов бассейна Карибского моря: ее длина всего 16 мм. Справедливости ради надо отметить, что ящерица *Sphaerodactylus parthenopion*, открытая в 1965 г., по размерам немногим больше.

Science et Vie. 2002. №1013. P.27 (Франция).

История науки

Памятник кошке

Осень 2002 г. ознаменовалась в 278-летней к тому времени истории Санкт-Петербургского университета появлением на его территории нескольких памятников, в их числе — скульптура домашней кошки. Она установлена во внутреннем дворе Двенадцати Петровских коллегий — главного здания университета, у экспериментального корпуса биофака, рядом с Ботаническим садом.

Стоит напомнить, что кошка три с половиной тысячи лет назад уже была одним из наиболее близких человеку домашних животных. Помимо своих исключительных качеств она



Памятник кошке. Это красивое животное метровой высоты, выполненное из черного габбродиабазы, сидит на двухметровом постаменте из полированного гранита.

обладает еще одним достоинством — является классическим объектом в руках умелого экспериментатора. Именно кошка подарила человечеству открытия в кардиологии, нейрофизиологии, сенсорных и других системах. Благодаря ей созданы представления о структуре и механизмах функционирования сердечно-сосудистой системы, interoцепции, синаптической передаче, проводящих путях и взаимодействии ядерных структур мозга, а также сделано много других первостепенных открытий. Кошка стала излюбленным объектом для физиологов, фармакологов, патологов и представителей иных биологических и медицинских специальностей. Человечество обязано кошке сотнями миллионов спасенных жизней, поэтому университетский монумент — это прежде всего дань уважения, благодарности и покаяния. Но не только. Это еще и обращение к грядущим поколениям экспериментаторов: будьте гуманны к братьям нашим меньшим!

Идея памятника принадлежит известному физиологу, заведующему кафедрой общей физиологии университета академику А.Д.Ноздрачеву; его композиция разработана петербургским скульптором А.Г.Дёма, архитекторами С.Л.Михайловым и Н.Н.Соколовым.

Монумент был осуществлен Санкт-Петербургским университетом. Но в его создании непосредственное участие принимали также сотрудники многих институтов: Физиологии им.И.П.Павлова РАН, Эволюционной физиологии и биохимии, Мозга человека, Биорегуляции и геронтологии РАМН, Эндокринологического научного центра (Москва), Медико-биологической секции СЗО РАЕН, Санкт-Петербургского клуба любителей кошек «Фелис», а также представители общест-

Открытый 14 ноября 2002 г. памятник подопытной кошке (как и памятник собаке, поставленный И.П.Павловым в 1935 г. в Институте экспериментальной медицины, а еще раньше — памятник лягушке как лабораторному животному, установленный французским физиологом К.Бернаром в Сорбонне) — являет собой продолжение благородных традиций.

© Ю.А.Толкунов,
доктор биологических наук
Санкт-Петербург

Организация науки

Право на ошибку

Положительный результат в научных исследованиях, особенно если по своей сути это значительное достижение, обычно быстро находит отражение в печати. Ошибочные же выводы, тупиковые исследования и прочие неудачи в научном поиске не имеют права гражданства. Эту некорректную ситуацию решил изменить американский биолог Б.Олсен (B.Olsen; Гарвардская медицинская школа).

Он первым подготовил обзор, целиком посвященный отрицательным результатам. Хотя сама идея и может показаться нелепой, тем не менее «Журнал отрицательных результатов в биомедицине», уже находящийся на сайте в Интернете, позволит, по мнению Олсена, избежать нерационального дублирования бездоказательных экспериментов.

Sciences et Avenir. 2002. №666. P.14 (Франция).

Космические исследования

Космические неудачи

В июле 2002 г. американские специалисты вывели на околоземную орбиту аппарат «CONTOUR» («Comet Nucleus

Tour» — «Полет к ядру кометы»); 15 августа была подана команда на включение бортового твердотопливного двигателя, чтобы придать аппарату ускорение для перехода на траекторию, ведущую к кометам Энке и Швассмана—Вахмана, — предполагалось получить с близкого расстояния изображения этих небесных тел, которые, возможно, способны немало «рассказать» о строении Солнечной системы в период ее рождения и молодости.

Маневр осуществлялся на высоте 225 км над Индийским океаном, в области, недоступной для американских радиолантенн системы «Deer Space Network». Однако после маневра возобновить связь с «CONTOUR» не удалось. Ни радиолокаторы, ни оптические приборы тоже не обнаружили аппарат. Позже были замечены два неизвестных объекта, движущихся по орбите, близкой к ожидаемой для «CONTOUR». Телескоп, входящий в сеть «Spacewatch» («Слежение за комасом») и предназначенный для наблюдения за приближающимися к Земле астероидами, обнаружил два новых слабых объекта, которые находились на расстоянии 460 тыс. км от нашей планеты и удалялись друг от друга с относительной скоростью чуть более 20 км/ч.

По всей видимости, «CONTOUR» при включении бортового двигателя взорвался, распавшись по меньшей мере на три фрагмента. Руководитель проекта Р.Фаркуар (R.Farquhar; Университет им.Дж.Хопкинса, штат Мэриленд) признал полную неудачу этой миссии.

Ныне решается вопрос о повторе эксперимента с помощью аппарата «CONTOUR-2». В отличие от предшественника для его выведения на окончательный курс не потребуется твердотопливный двигатель. Вероятнее всего, бу-

дет использована более крупная (но и более дорогая) ракета-носитель. Так как запасных частей к аппарату «CONTOUR» у НАСА нет, всю систему придется строить заново. В любом случае это обойдется в сумму, превышающую те 100 млн долл., которые были израсходованы при первой попытке.

Science. 2002. V.297. №5585. P.1253 (США).

Космические исследования. Экология

Мониторинг состояния среды спутниками серии «Spot-4»

Искусственный спутник Земли «Spot-4», запущенный еще в 1998 г., продолжает работать по программе «Vegetation» («Растительность»), созданной усилиями Европейского союза, а также отдельно Бельгией, Францией, Италией и Швецией; программа предусматривает регулярный мониторинг глобального состояния растительного покрова и крупных водохранилищ с сезонной и иной изменчивостью населяющих их организмов. Данные охватывают почти ежесуточную динамику, происходящую в каждом регионе.

В 2000 г. изображения, получаемые со спутника «Spot-4» по программе «Vegetation», охватывали, с учетом повторяемости, более 82.5 млрд км². С весны 2002 г. порядок предоставления спутниковой информации упростился, а данные стали совместимы с поступающими по европейской программе «Global Monitoring for Environment and Security» («Глобальный мониторинг среды и безопасности»). Теперь обработанный и унифицированный продукт за последовательные 10 сут наблюдений выдается в виде стандартизованной карты любому пользователю по его

обращению в адрес сервера <http://free.vgt.vito.be> (Центр данных расположен в Бельгии). Бесплатно информация подобного рода предоставляется за время, предшествующее предыдущим 3 мес, а более свежая (менее чем за 3 мес) по-прежнему оплачивается.

Данные мониторинга ныне широко применяются в различных странах для определения состояния посевов, прогноза урожая, слежения за распространением лесных пожаров и т.д.

В апреле 2002 г. произведен запуск спутника «Spot-5».

Spaceflight. 2002. V.44. №2. P.53 (Великобритания).

География

Великая зеленая стена

Главная цель реализуемого в Китае проекта «Третий Север» — возведение грандиозной зеленой стены перед наступающей с северо-запада пустыней. Барьер из деревьев, кустарников, трав, рисовых полей протянется по 13 провинциям более чем на 4500 км, ширина его составит несколько сот километров.

Опустыненные земли с помощью сельскохозяйственной авиации засевают семенами кустарниковых растений, сосны, туи, к которым примешана глина, содержащая питательные вещества. Высаживают и быстрорастущие тополя различных пород, а также новые сорта засухоустойчивых деревьев. Однако их плантации, особенно если они состоят из растений одной породы, подвержены заболеваниям. Но у китайцев есть в запасе еще один метод борьбы с пустыней: каждый гражданин в возрасте от 11 до 60 лет должен посадить от трех до пяти деревьев в год.

Science et Vie. 2002. №1020. P.129 (Франция).

Псковская глухомань

В.И.Булавинцев,

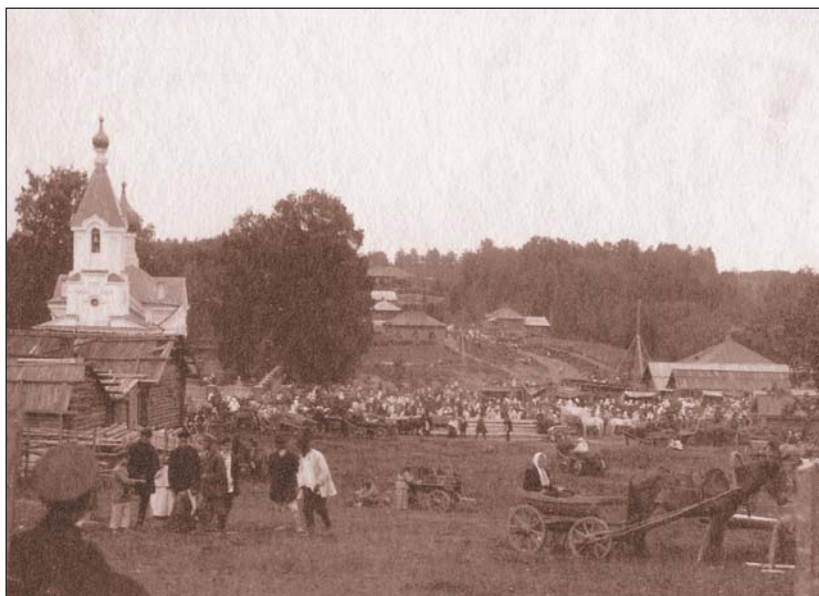
кандидат биологических наук

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

Псковская деревня Кресты до революции 17-го года была большим торговым селом, а ныне — захолустный районный центр в полсотни жилых дворов. Брошенных ветхих изб в нем и того более. Деревня тянется по-над берегом не очень широкой здесь, в верховьях, Западной Двины километра на полтора, кончаясь у вековой сосновой рощи, от которой берет начало село поменьше — Боровки.

Широкая прямая дорога, помнящая нашествие французов 1812 г., пересекает Кресты по-доль, надвое, и уходит в Боровки. Дальше тянется по заросшим дикими травами и кустарником холмам и долам, да редким вымирающим деревенькам в несколько посеревших от времени изб. На ржавеющих водонапорных башнях, телеграфных столбах или поверх обломленных деревьев — непременно аисты. Бежит дорога ухабистой песчаной змейкой в сторону древней земли смоленской.

Еще недавно, лет 15 назад, вокруг этих мест кипела жизнь. Сеяли голубоцветный лен и хлеба, играли свадьбы, рожали детей. Но то время минуло, и теперь, в начале третьего тысячелетия от Рождества Христова, запустенье пришло на западные древнерусские земли Псковщины. Позарастали поля березняками, поредели села.



Ярмарка в Крестах. 1923 г.



Уборка льна. 1923 г.



Мальчик с уловом. Голавль и щука еще водятся в Западной Двине. Здесь и далее фото автора



Верховья Западной Двины неподалеку от Крестов.



Изба — ровесница прошлого века.

Природе все едино, есть ли люди на земле, нет ли их. Если нет, так даже лучше. Не травят зверье и птиц удобрениями и ядохимикатами, не сводят бездумно вековые леса, не сушат попусту клюквенные болота.

Последняя беда, несмотря на оскудение людское, на Западной Двине расцветает махровым цветом, видно, рыбнадзора в этих местах не стало вовсе. Бьют рыбу током, глушат, от чего еще недавно рыбная река страдает превелико.

Но еще не обеднели ягодой и грибами здешние болота и леса, сосновые боры да ельники-зеленомошники. Хаживают по непролазным малинникам медведи. Волки не перевелись, летом собак даже из деревни с цепей уносят. Есть еще белка, куница и рысь в лесной глухомани. Довольно рябчика по окраинам клюквенных болот. Токуют по весне глухари да тетерева, и не счесть птичьей мелочи.

В мае невестится по берегам Двины черемуха, гремят на все

лады в ее зарослях российские соловьи. Еще жива псковская глухомань. В конце лета и по осени курлычут пепельноперые журавли по окрестным лугам. Трещат вездесущие сороки по околицам деревень. А небо над головой какое! Хороши и золотисто-багряные закаты, дивны росные туманные зори над рекой. Нет-нет да и хлестнет под вечер на перекате голавль килограмма в два, а то и более весом. Еще жива псковская глухомань. Только вот надолго ли? ■

Свалка как возбудимая среда

В.А.Вавилин, Л.Я.Локшина, А.Н.Ножевникова, С.В.Калюжный



Василий Александрович Вавилин, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института водных проблем РАН. Область научных интересов — химическая кинетика, динамика сообществ микроорганизмов, математическое моделирование экологических систем.

Людмила Яковлевна Локшина, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник того же института. Занимается математическим моделированием экологических систем.

Алла Николаевна Ножевникова, доктор биологических наук, заведующая лабораторией Института микробиологии РАН. Основные научные интересы связаны с микробиологией окружающей среды, экологией микроорганизмов, микробными сообществами и микроорганизмами метаболического цикла.

Сергей Владимирович Калюжный, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник кафедры энзимологии химического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Изучает природоохранную биотехнологию, кинетику и моделирование анаэробных процессов, биоремедиацию почв.

С давних времен твердые бытовые отходы, основную массу которых (от 45 до 80%) составляют органические вещества, традиционно захоранивают на городских свалках — специально отведенных местах, в оврагах или карьерах. Спонтанно сформированное на свалках микробное сообщество медленно разлагает органические вещества. При этом образуется биогаз (смесь метана

и CO₂), загрязняющий приземный воздух и атмосферу [1]. За 30—50 лет утилизируется примерно 30% захороненной органики, остальная часть продолжает разлагаться с уменьшающейся скоростью в течение последующих десятилетий и, вероятно, столетий. Мусорные залежи в то же время служат источником выщелачивающей жидкости (фильтрата), количество и состав которой определяется влажностью, размерами и типом бытовых отходов,

а также состоянием верхнего покрывающего слоя. В свою очередь эти характеристики зависят от дождевых и талых вод, просачивающихся через свалочную толщу.

Таким образом, свалки — источник загрязнения поверхностных и подземных вод и дополнительного поступления метана в атмосферу, повышенное содержание которого может способствовать глобальному потеплению климата [2]. Именно поэтому в ряде индустриально

© В.А.Вавилин, Л.Я.Локшина,
А.Н.Ножевникова, С.В.Калюжный

развитых стран, прежде всего в США, бытовые отходы складывают на специально подготовленных полигонах; дно выстилается изолирующим материалом, а сами отходы, возвышающиеся после заполнения свалки на 30–50 м, сверху закрываются изолирующим материалом. Получается своего рода саркофаг, в котором твердые бытовые отходы могут разлагаться в течение столетий. Все это время необходим постоянный мониторинг за его состоянием, сбор и утилизация биогаза, очистка выходящего фильтрата от загрязнений и пр.

Сегодня в городах России за год на человека накапливается 250–300 кг бытовых отходов. Ежегодно Москва платит за вывоз мусора более 2 млрд руб., а в ближайшее время из-за необходимости вывозить мусор на значительные расстояния эта сумма будет увеличиваться. Есть ли альтернатива традиционным городским свалкам?

Около 30 лет назад в США была предложена новая технология захоронения бытовых отходов: создание громадных био реакторов, в которых дно и стенки изолированы от окружающего грунта, а верхний перекрывающий герметичный слой предотвращает эмиссию биогаза (его собирают с помощью системы перфорированных труб и используют как топливо). За счет рециркуляции фильтрата в толще свалки повышается влажность, что значительно ускоряет деградацию отходов. Таким образом, достаточно быстро (лет через 10) территорию свалки можно использовать для новых захоронений.

В европейских странах, где дефицит свободной территории очень велик, цена на энергию высока, а экологические стандарты строги, уже приняты законы по значительному сокращению и предотвращению поступления органических отходов на свалки. Их собирают раздельно или тщательно сортируют на фракции (металл, стекло,

пластик, текстиль, бумага, пищевые и садовые отходы), которые соответствующе обрабатывают. При этом органические вещества используют как сырье для получения удобрений (компоста) и дополнительной энергии, образующейся после анаэробной трансформации: *органическое вещество* → *биогаз* → *электричество*.

Органические отходы помещают в компактные биотехнологические установки: в снабжаемые кислородом компостеры или в анаэробные реакторы. Там образуется активная биохимическая среда, позволяющая ускорить процесс деградации во много раз. В Германии уже построены около 2 тыс. биогазовых установок различной мощности, в которых одновременно разлагаются органические отходы и биомасса специально выращиваемых растений. Так на практике осуществляется переход к возобновляемым источникам энергии.

Экосистема свалки

Свалка — это сложная и уникальная экосистема, которая формируется в результате постепенного просачивания атмосферных осадков и развития микроорганизмов, привнесенных с отходами и проникающих из окружающего грунта и почвы. Гетерогенность твердых отходов создает большую неоднородность и концентрацию промежуточных органических веществ. Специальные исследования московских свалок с использованием геофизических, изотопных и микробиологических методов показали, что выброс биогаза в атмосферу в различных точках крайне нерегулярен [3]. Неразложившиеся отходы находят на свалках спустя несколько десятилетий после захоронения. В чем же причина?

Биохимические превращения органики определяются наличием или отсутствием кислорода. В аэробных условиях она доста-

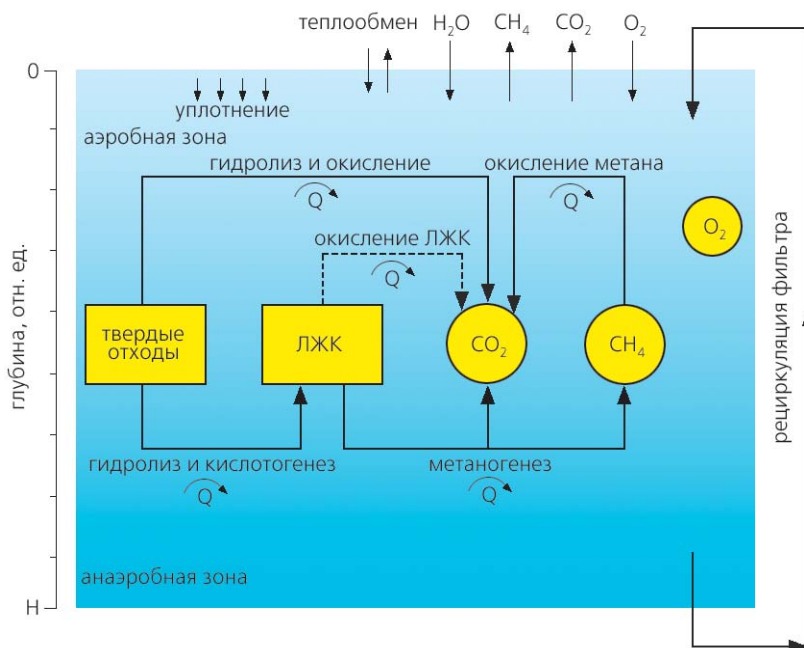


Схема разложения органического вещества твердых бытовых отходов на свалке: движение воды, так же, как и диффузия кислорода в толщу свалки, определяет характер биохимических процессов. Достаточная влажность способствует доступности органических веществ, и прежде всего летучих жирных кислот (ЛЖК) как субстрата для микроорганизмов, и их распространению в пространстве.

точно быстро окисляется аэробными микроорганизмами, образуя диоксид углерода и накапливая микробную биомассу. Такие условия существуют продолжительное время лишь в самом верхнем слое свалки. В ее толще после быстрого исчерпания кислорода начинается более медленная деструкция органических веществ с участием анаэробных микроорганизмов. В итоге образуется активная (возбудимая) биохимическая среда.

Механизмы анаэробного распада органических веществ изучались на экосистемах анаэробных реакторов, донных отложений и почв. Условия свалки хорошо имитируются в лабораторных цилиндрических лизиметрах [4]. Распад биополимеров (углеводов, белков и жиров) начинается с гидролиза, который осуществляют микроорганизмы, имеющие специальные

ферменты — гидролазы. Их размножению и распространению по поверхности твердого субстрата способствует вода. Продукты этой реакции потребляются гидролитиками и другими кислотогенными микроорганизмами, в результате чего образуются летучие жирные кислоты (уксусная, пропионовая, масляная), а также водород. Фаза, условно объединяющая гидролиз и кислотогенез, называется кислотогенной. При накоплении жирных кислот понижается pH среды, а при $pH < 6.0$ конечная метаногенная фаза подавляется.

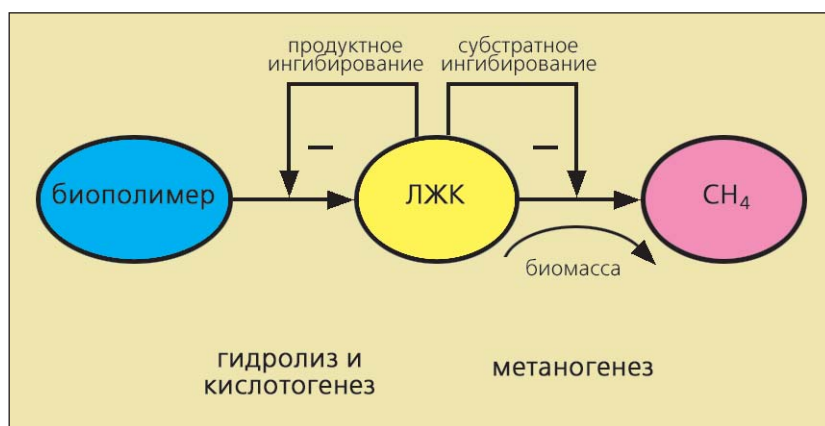
Исследования образцов, взятых из свалок, показали, что быстрее всего метан образуется в нейтральной или слабо щелочной среде, а в кислой, напротив, медленнее. Если кислотогенная и метаногенная фазы не сбалансированы, в фильтрате

накапливаются растворенные жирные кислоты. При этом блокируется не только метаногенез, но и гидролиз. Тем не менее и при низких значениях pH в некоторых местах свалки, где есть ниши для соответствующих микробов, метан выделяется.

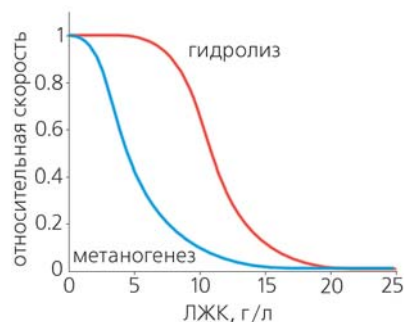
Математические модели анаэробных систем, как правило, предполагали полное перемешивание в реакционном пространстве [5]. Лишь недавно были построены первые распределенные модели анаэробных процессов [6, 7]. Современная свалка должна формироваться как биореактор, что потребует и создания ее современной математической модели. Для этого необходимо учитывать сложные физические, химические и биологические процессы, протекающие в трехмерной толще свалки. Атмосферные осадки, поступающие на поверхность, медленно просачиваются сквозь толщу свалки. Количество выходящего из нижнего слоя фильтрата, достаточное для его рециркуляции, может накопиться лишь через несколько лет. Через верхнюю границу в толщу свалки поступает кислород, а из нее выходит биогаз.

Некоторые из процессов — взаимозависимы. Например, в пористой среде гидравлическая проводимость уменьшается в ходе биохимического разложения бытовых отходов и последующего их уплотнения. Тепло, образующееся особенно при аэробных процессах, ускоряет биохимические реакции, приводя к еще большему тепловыделению.

Первые шаги в создании распределенной модели свалки уже сделаны в Институте водных проблем РАН. Математическая модель, представленная в виде системы нелинейных уравнений в частных производных, численно решалась с использованием современных математических пакетов (МАТЛАБ и ФЕМЛАБ). В ней рассматривался и такой процесс, как микробиологическое окисление метана в аэробной зоне.



Упрощенная кинетическая схема трансформации твердых отходов в метан: чрезмерное накопление летучих жирных кислот останавливает и метаногенез, и гидролиз. При достаточно низкой концентрации метаногенных микроорганизмов сбалансированы обе стадии.



Относительная скорость гидролиза и метаногенеза в зависимости от концентрации летучих жирных кислот. Ингибирующая концентрация ЛЖК для гидролиза значительно выше, чем для метаногенеза.

Автокатализ и химические волны

В сосредоточенных химических системах диффузией вещества обычно пренебрегают (ее считают более быстрой, чем химический процесс, идущий во всех точках объема реактора синхронно), и математическая модель записывается обыкновенными дифференциальными уравнениями. В распределенных химических системах диффузия становится значимой и реакция идет не синхронно по объему. Тогда в математической модели необходимо рассматривать динамические переменные как функции не только времени, но и пространства. Для некоторых химических и биологических систем характерна возбудимость. Если система находится в состоянии «покоя», то небольшое возмущение может вызвать быстро нарастающие изменения, и через некоторое время система окажется возбужденной. В таком состоянии происходит аналогичное возбуждение в соседних точках, тем самым, идет волновой процесс. Известно, что автокаталитические химические реакции могут распространяться в пространстве со скоростью, значительно превышающей диффузию. Реакция, начавшаяся в одной точке, подобно пламени, быстро захватывает весь объем.

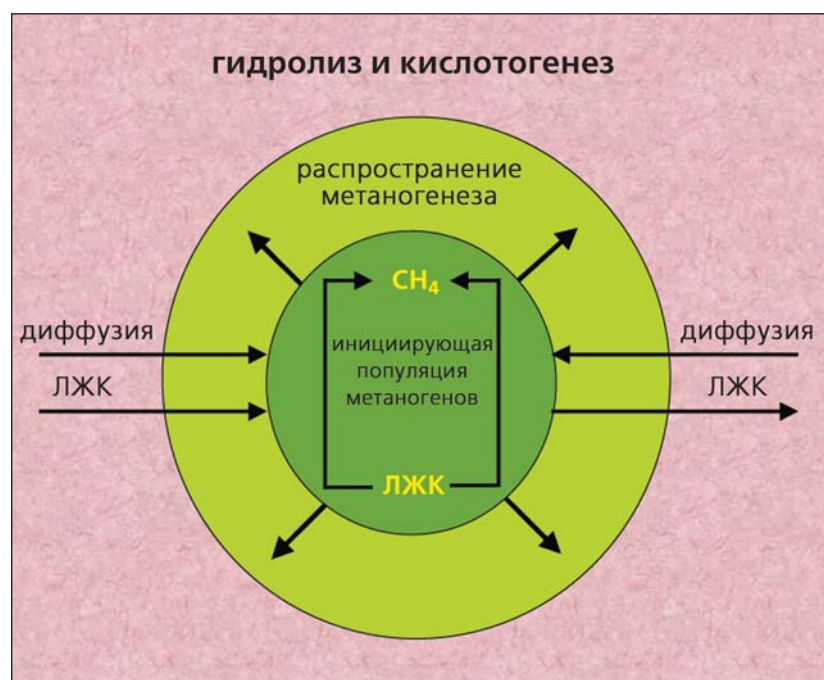
Движение волны химической активности, как и расширение ареала нового вида, не раз описывалось в литературе [8]. Автокатализ (самоускорение), как и волновые процессы, характерен для многих динамических систем. Распространение эпидемий, религиозных учений и моды лишь некоторые примеры подобных процессов. Продвижению фронта химической волны способствуют и диффузия, и размножение активных частиц. Именно оно лежит в основе химического автокатализа. Бегущая волна по мере движения переводит реакционную смесь из одного стационарного состояния в другое.

Мы изучали пространственное распространение автокаталитической химической реакции в тонком слое раствора [9]. Она сопровождалась задержкой (лаг-фазой), в конце которой в определенных точках возникали очаги с высокой концентрацией активных частиц. Тщательная очистка реагентов не меняла динамику системы, что позволило допустить флуктуационный механизм появления очагов. Очаг реакции можно создать искусственно в конкретном месте пространства, добавляя вещество, связывающее ингибитор реакции. Интенсивное перемешивание раствора, выравнивающее градиенты концентраций, значительно увеличило продолжительность задержки. После накопления критической массы активных частиц процесс ускорился при встряхивании реакционной смеси. Оказалось, что изначально реакцию можно провести за короткое время, начиная перемешивание системы по-

сле того, как объем очагов будет достаточен. Разбросав их по пространству, можно поджечь весь объем. Нетрудно продолжить эту аналогию и на упомянутые выше активные динамические системы.

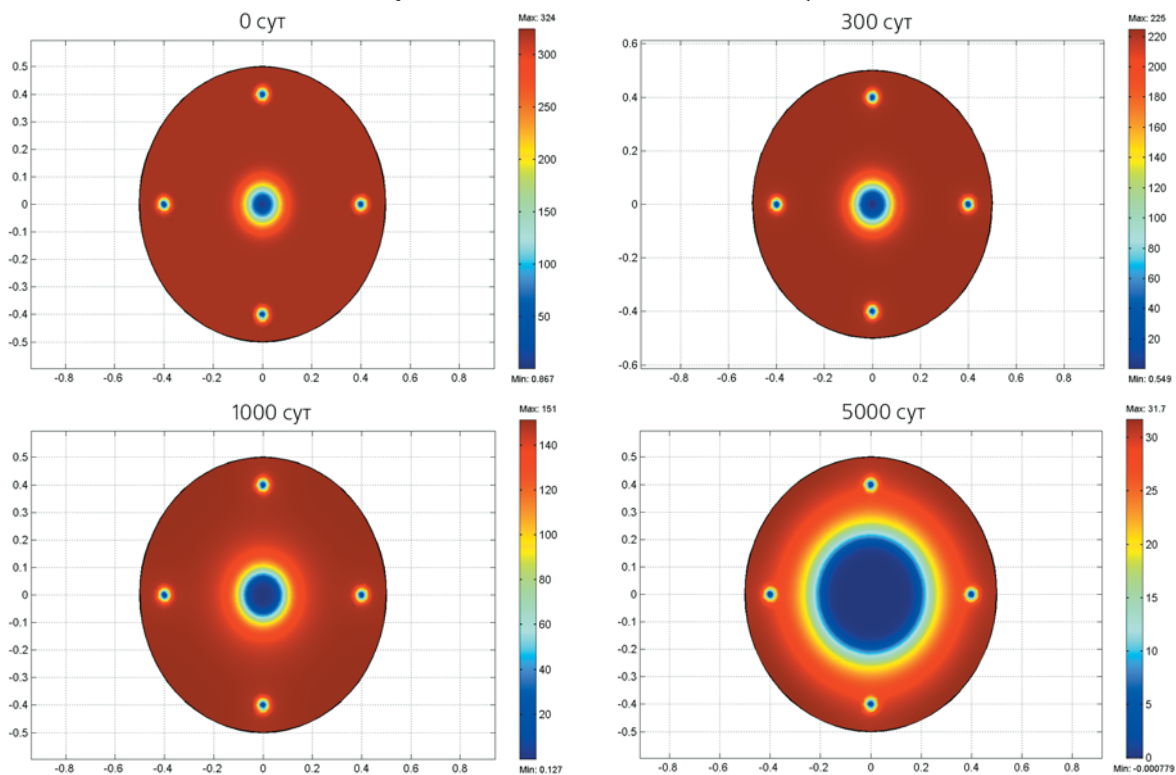
Волна биохимической активности

В деградации твердых бытовых отходов на свалках необходимо выделить два ключевых процесса: гидролиз и метаногенез. В ходе гидролиза и последующего кислотогенеза появляются промежуточные продукты, летучие жирные кислоты (ЛЖК), которые в дальнейшем превращаются в биогаз (метан и диоксид углерода). Для такой трансформации оба процесса должны быть сбалансированы [10]. Высокая концентрация жирных кислот останавливает и метаногенез (ингибирование субстратом), и гидролиз (инги-

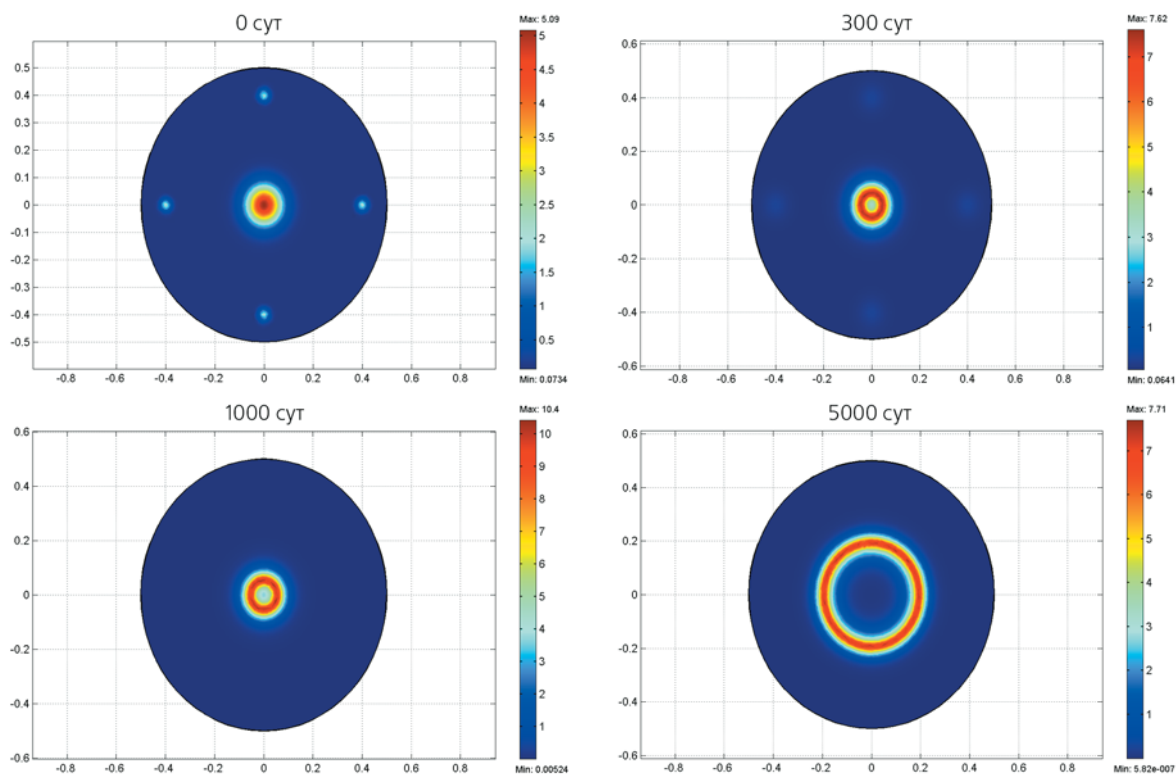


Характерные зоны реакционного пространства при разложении бытовых отходов. Популяция метаногенных микроорганизмов удалена от зоны с высокой концентрацией летучих жирных кислот. Диффузия ЛЖК может расширить зоны активного метаногенеза в случае роста иницирующей популяции микроорганизмов.

твердые бытовые отходы, г/л

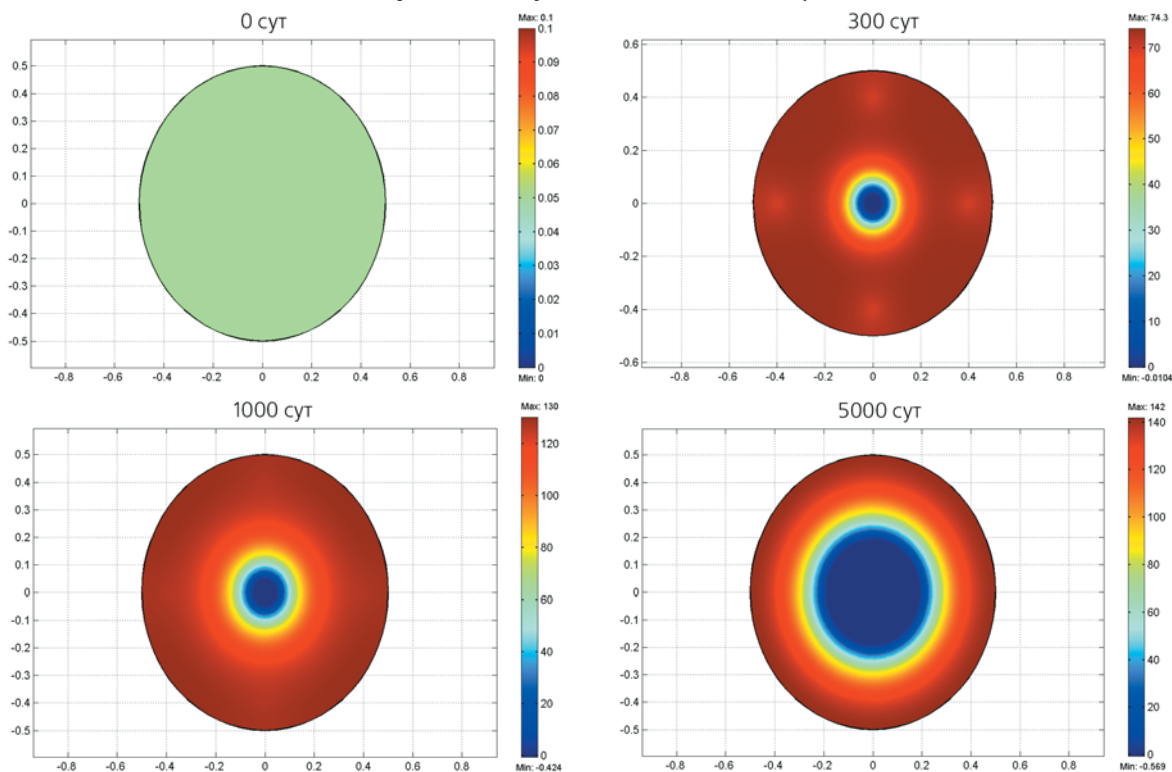


метаногенные микроорганизмы, г/л

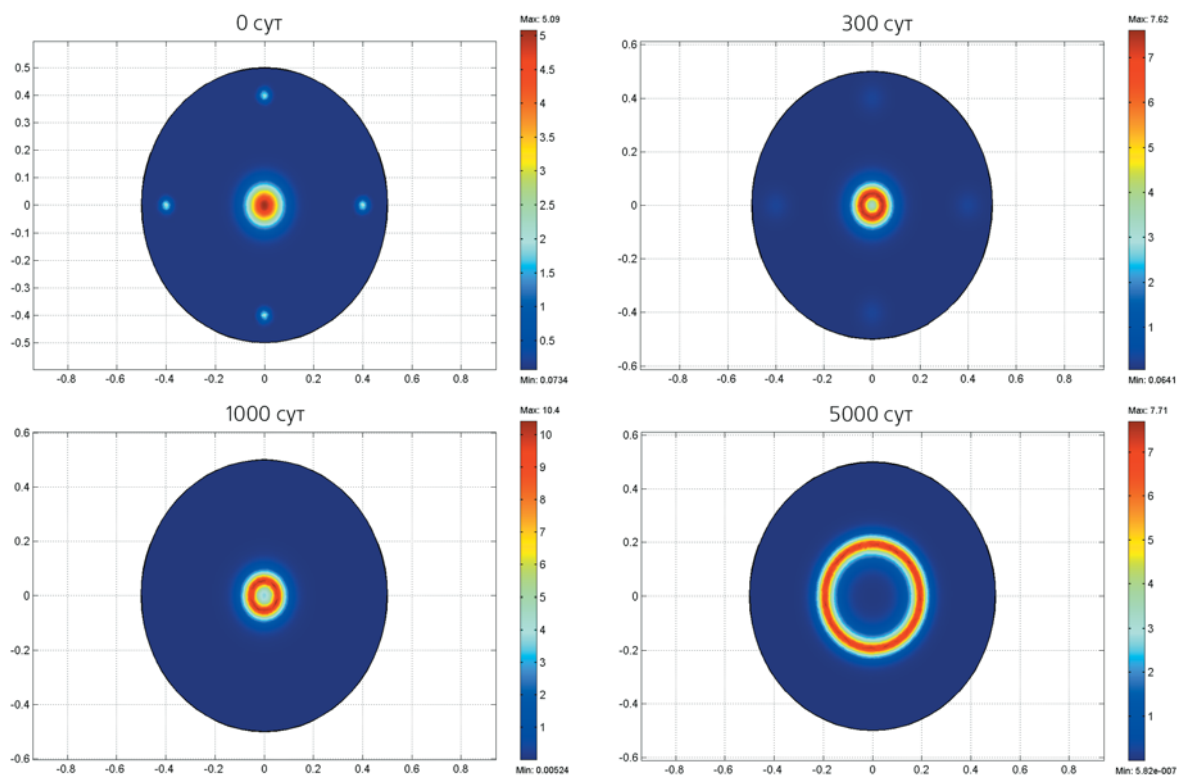


Развитие процесса разложения твердых отходов согласно двумерной математической модели при пятипиковом начальном распределении биомассы в круге. Лишь центральный относительно большой пик биомассы распространяется из центра круга. Дефицит органического вещества

летучие жирные кислоты, г/л



продукция метана, г/лсут



и отмирание микроорганизмов со временем вызывают падение их концентрации в центре. Диффузия летучих жирных кислот, ингибирующих рост метаногенов, быстро приводит к исчезновению периферийных пиков биомассы.

бирование продуктом). Если количество метаногенов достаточно, текущая концентрация жирных кислот невысока, бытовые отходы эффективно превращаются в метан [6]. Ингибирующая метаногенез концентрация жирных кислот составляет 1–6 г/л, а кислотогенез — 10–30 г/л. Таким образом, если замедлен гидролиз, то и последующая стадия тем более заторможена. При дефиците влаги высокие концентрации растворенных жирных кислот (~30 г/л) могут длительное время сохраняться в толще свалки. Тогда и начальный (гидролиз), и конечный (метаногенез) этапы деградации органики заблокированы. Лишь разделение этих процессов в пространстве приводит к тому, что при высокой текущей концентрации жирных кислот кислотогенная и метаногенная стадии могут проходить одновременно [9]. Образующиеся в зоне гидролиза летучие жирные кислоты путем диффузии или адвекции доставляются в активную метаногенную зону. Для экспансии метаногенной зоны (распространения биохимической волны), способствующей эффективному разложению органики, жирные кислоты должны не накапливаться, а усваиваться метаногенной популяцией [10]. Иначе будет подавлен метаногенез, а далее и гидролиз, т.е. весь процесс превращения органических веществ в метан.

Естественно предположить, что в гетерогенной толще свалки «выживает» лишь часть очагов метаногенеза. Чрезмерная диффузия жирных кислот в его начальные очаги, где концентрация микробов еще невысока, подавляет их развитие. В то же время в ходе усвоения жирных кислот метаногенная популяция увеличивается, и уже через некоторое время та же диффузия будет способствовать образованию метана. Недавно Р.Струт и др. экспериментально показали, что задержка эффективного перемешивания ускоряет разложение твердых бытовых отходов [11].

Среди технических приемов, влияющих на общую скорость деградации органического вещества и его превращения в метан, наиболее значимы рециркуляция фильтрата и изначальное введение активных метаногенов. Как показала одномерная распределенная модель биореактора, разложение твердых бытовых отходов и выделение метана ускоряются, если во всем реакторе поддерживается нейтральная среда [12]. По рекомендациям Д.Рейнхарт и Т.Таунсенд, рециркуляция фильтрата в действующих свалках должна вводиться медленно [13]. Согласно распределенной модели, такая эксплуатация свалки способствует сохранению активных очагов метаногенеза. Предварительное пространственное разделение твердых бытовых отхо-

дов и метаногенной биомассы позволяет исключить ингибирующее влияние летучих жирных кислот и стимулировать превращение органики в метан. К такому же эффекту должно приводить и отсутствие принудительного усреднения реакционного пространства в начальный период разложения отходов. Поддача кислорода в толщу свалки (сравнительно новый технический прием) способствует быстрому окислению жирных кислот и повышению температуры среды. При этом уменьшается ингибирующая концентрация жирных кислот, что в дальнейшем ускоряет деградацию всех твердых органических веществ [14].

Таким образом, создание соответствующих распределенных математических моделей позволило понять, что свалка ведет себя как активная система, которой можно управлять, поддерживая ее возбужденное состояние ■

Исследования по развитию эффективных методов предотвращения загрязнения воды и эмиссии метана на свалках бытового мусора проводятся при финансовой поддержке Европейского Сообщества. Программа «Коперникус-2». Грант ICA-2-СТ-2001-1001. Л.Я.Локшина получила поддержку Фонда содействия отечественной науке (грант для талантливых молодых ученых).

Литература

1. Ножевникова А.Н. Мусорные залежи — метановые бомбы планеты // Природа. 1995. №6. С.25—34.
2. Заварзин Г.А., Кларк У. Биосфера и климат глазами биологов // Природа. 1987. №6. С.65—72.
3. Nozhevnikova A.N., Lifsbits A.B., Lebedev V.S. et al. // Chemosphere. 1993. V.16. P.401—417.
4. Barlaz M.A., Ham R.K., Schaefer D.M. // Crit. Rev. Environ.Control. 1990. V.19. P.557—584.
5. Batstone D.J., Keller J., Angelidaki I. et al. // Anaerobic Digestion Model. 2002. №1. IWA Publishing. London.
6. Вавилин В.А., Щелканов М.Ю., Локшина Л.Я. // Вод. ресурсы. 2001. Т.28. С.756—762.
7. Колебания и бегущие волны в химических системах. Филд Р. / Под ред. М.Бургера. М., 1988.
8. Вавилин В.А., Заикин А.Н. // Кинетика и катализ. 1971. Т.12. С.309—313.
9. Brumeler E.eten // Water Science and Technology. 2001. V.40(3). P.299—304.
10. Vavilin V.A., Shchelkanov M.Yu., Rytov S.V. // Water Research. 2002. V.36. P.2405—2409.
11. Stroot P.G., McMabon K.D., Mackie R.I. et al. // Water Research. 2001. V.35. P.1804—1816.
12. Vavilin V.A., Rytov S.V., Loksbina L.Ya. et al. // Biotechnology and Bioengineering. 2003. V.81. P.66—73.
13. Reinbart D.R., Townsend T.G. Landfill Bioreactor Design and Operation. Boca Raton FL. Lewis Publisher.
14. Loksbina L.Ya., Vavilin V.A., Kettunen R.H. et al. // Water Research. 2001. V.35. P.2913—2922.

Туффизиты под Санкт-Петербургом

К.Э.Якобсон,

кандидат геолого-минералогических наук

А.П.Казак,

кандидат геолого-минералогических наук

Е.В.Толмачева,

кандидат геолого-минералогических наук

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им.А.П.Карпинского
Санкт-Петербург

В статье Л.В.Махлаева и И.И.Голубевой, опубликованной в «Природе» в 2001 г. [1], сделан обзор, посвященный малоизученным флюидно-эксплозивным системам — флюидизатам — и их положению в современной петрографической классификации. Авторы рассматривают эти образования как особый подтип магматических пород.

Мы, начиная с середины 90-х годов, изучали рифейские флюидизаты Русской платформы [2—4], из которых наиболее интересными нам кажутся туффизиты — специфические exploзивные брекчии, впервые изученные среди юрских отложений Швабии Г.Клоосом [5]. В современной литературе этот термин используется не всегда корректно. Туффизитами подчас именуют самые различные породы, вплоть до игнимбритов, и наоборот, известны случаи, когда они описывались как тиллиты (моренные отложения), брекчии обрушения, тектонические и метеоритные брекчии, материал карстовых воронок. Мы сочли полезным описать распространенные поблизости от Санкт-Петербурга породы, которые в полной мере соответствуют эталонным туффизитам, образующимся при

вулканизме. Такое описание необходимо еще и потому, что классическая работа Клооса, изданная в Германии в 1941 г., не всегда доступна специалистам. Как полагал исследователь, на первом этапе вулканического процесса дезинтеграция горных пород происходит не столько благодаря грубому взрыву, сколько воздействию проникающего сквозь них активного газа. В результате механического разрушения окружающих пород возникают брекчии, которые состоят из обломков осадочных и изверженных пород. Клоос и назвал их туффизитами. Они остаются в жерле или выбрасываются на поверхность во время главной фазы вулканического процесса.

Изученные нами породы распространены в западной бортовой зоне Ладожского прогиба, примерно совпадающего с котловиной Ладоги. Туффизиты входят в состав рифейско-ранневендских — приладожской и залегающей на ней яблоньской — свит, вскрытых буровыми скважинами Петербургской комплексной геологической экспедиции на Карельском перешейке южнее оз.Отрадного. Глубина залегания туффизитов и сопутствующих пород ниже 60 м. Суммарная мощность отложений достигает 150 м. Площадь, занимаемая свитами, не-

велика: расстояние между крайними вскрывшими их скважинами около 15 км. В приладожской туффизиты встречаются среди песчаников и доломитов в виде прослоев мощностью до 1 м, а в яблоньской составляют основную массу.

Туффизит представляет собой конгломерато-брекчию, переходящую в разнозернистый песчаник, содержащий отдельные обломки, гальки и гравийные зерна, сцементированные песчано-глинистой массой с примесью измененного вулканического вещества. Гальки и обломки происходят из местного материала — гранитоидов древнего фундамента, песчаников и доломитов подстилающих осадочных свит. Реже они состоят из основных и ультраосновных изверженных пород.

Большинство специалистов [6] рассматривают эти породы как тиллиты ранневендского оледенения. Проведенные нами исследования не подтверждают ледниковый генезис таких конгломератов и брекчий, а позволяют отнести их к exploзивным образованиям — туффизитам. На первый взгляд они действительно похожи на ледниковые породы. Для них типична хаотичная текстура, отсутствие сортировки и слоистости, но в отличие от тиллитов в них обнаруживаются признаки кон-

© К.Э.Якобсон, А.П.Казак,
Е.В.Толмачева



Дезинтеграция доломита в туффизите. Вверху обломки слоистого доломита сохранилась первичная текстура, внизу видны отделившиеся от него фрагменты. Скважина 7, глубина 114 м. Диаметр керна 7.2 см. Здесь и далее фото авторов

седиментационного перемещения и воздействия высоких температур.

В буровом керне наблюдаются следы течения взрывной массы и разрушенные при перемещении угловатые обломки подстилающих пород. Но в туффизите встречается большое количество и округленных (оплавленных или окатанных) галек, что в тиллитах наблюдается крайне редко (только в тех случаях, когда ледник при своем движении захватывает из ложа русловые галечники). На поверхностях обломков нередко видны реакционные каемки и оторочки, указывающие на различные температуры формирования галек и цементирующей их массы.

В пробах установлены новообразованные биотит, флогопит, сульфиды металлов, барит, вулканические стекла, чешуйки золота размером до 0.3 мм. М.Н.Афанасов при изучении шлиховых проб описал большое количество шаровидных (по-видимому, оплавленных) зерен кварца, титаномагнетита и других минералов. Наибольшее их количество фиксируется в самой мелкозернистой, приближающейся к алевроитовой, фракции. В осадочных же породах (и тем более в тиллитах) мелкие зерна остроугольны. В тяжелой фракции нескольких проб из яблоновской свиты обнаружено большое количество (до 50%) хорошо ограненных призматических кристаллов новообразованного апатита, содержащих многочисленные призматические и трубчатые включения расплавов.

Во время нагревания этих кристаллов в вакуумном декрепитографе ВД-5 при температуре около 500°C во включениях появлялся газовый пузырек, а в интервале температур 650—680°C происходила их разгерметизация. Следовательно, температура захвата подобных включений кристаллизующимся апатитом была не ниже 650°C.



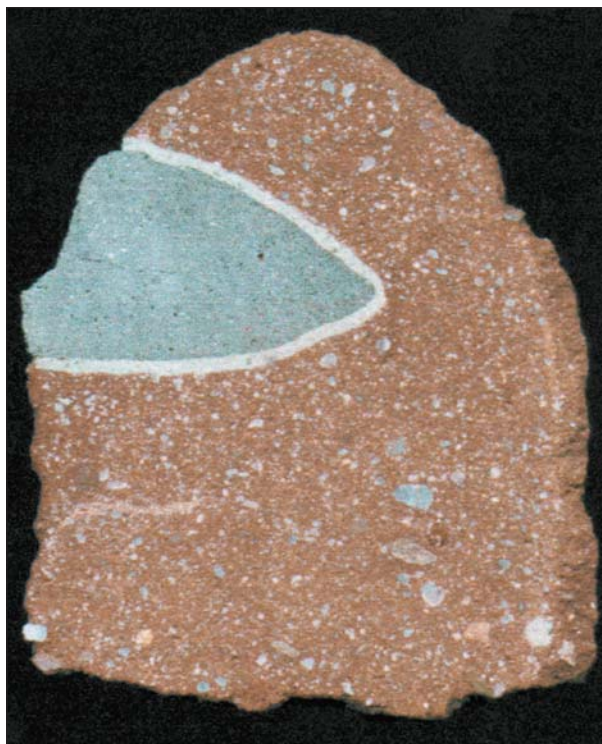
Зерна вулканического стекла в туффизите. Скважина 3, глубина 64 м. Длина крупного зерна около 1.5 мм.

В верхней части яблоновской свиты М.Т.Орловой обнаружены каплевидные и эллипсоидальные зерна стекла с пузырчатými включениями. При нагревании образца в термокамере полная гомогенизация включений и зерна-хозяина произошла в одном случае при $t = 880\text{--}890^\circ\text{C}$, а в другом — при $t = 1110\text{--}1115^\circ\text{C}$, что очевидно связано с различным составом флюидной фазы в стекле. Термобарохимические исследования показали, что температура образования изученных взрывных брекчий достигала 820—1115°C.

Приведенные данные позволяют предложить модель формирования туффизитов Ладожского прогиба. Высокотемпературные глубинные флюиды в конце рифейской эры по каналам в породах фундамента и осадочных слоях проникали в бассейн седиментации. В приладожское время — периодически и небольшими порциями, а в яблоновское время — в виде обильных масс. Освобождавшийся в результате декомпрес-



Обломок интрузивной породы в туффизите с проникающей в него реакционной каемкой. Скважина 6, интервал 77.5–84.0 м. Диаметр керна 7.2 см.



Галька изверженной породы с реакционной оторочкой в взрывной брекчии. Яблоновская свита, скважина 6, интервал 79.5–84.0. Диаметр керна 7.6 см. Образец из коллекции О.В.Романовой.

сии активный газ разрушал эти породы и выносил продукты разрушения на поверхность. Температура флюидов была нестабильной, но временами достигала высоких значений.

Механизм подобного процесса как раз и описан Махлаевым и Голубевой. Но наши коллеги рассматривают флюидизаты как особый подтип магматических пород. Мы же предлагаем считать их особым классом, в петрографической классификации имеющим такой же ранг,

как осадочные, магматические и метаморфические образования [2]. Очевидно, решение этой проблемы — дело будущего. Хотелось бы, однако, заметить, что включать флюидизаты в тип магматических пород нельзя, поскольку в составе некоторых их разновидностей (мы только что это показали на примере ладожских туффизитов) существенную роль играет осадочная компонента. Нельзя их рассматривать и как осадочные образования: в осадочных породах нет

места новообразованным апатитам и стеклам.

И, наконец, еще один убедительный аргумент против отнесения флюидизатов к какому-либо из существующих классов пород привели Махлаев и Голубева. Они показали, что процесс, ведущий к формированию флюидизатов — хорошо известное в производственной технологии псевдоожигание. Магматогенные и осадочные породы образуются под воздействием совершенно других факторов. ■

Литература

1. Махлаев Л.В., Голубева И.И. Флюидизаты требуют внимания // Природа. 2001. №9. С.59–68.
2. Казак А.П., Якобсон К.Э. // Регион. геология и металлогения. 1997. №6. С.168–169.
3. Якобсон К.Э., Казак А.П., Толмачева Е.В. Инъекционные туффизиты севера Русской платформы. Геология и минеральные ресурсы Республики Коми // Материалы XIII геологического съезда Республики Коми. Т.2. Сыктывкар, 1999. С.177–178.
4. Казак А.П., Якобсон К.Э. // Докл. РАН. 1999. Т.367. №4. С.522–525.
5. Cloos H. // Geologische Rundschau. 1941. Bd.XXXII. H.6–8. S.708–800.
6. Соколов Б.С. Очерки становления венда. М., 1997.

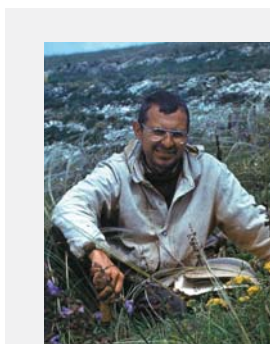
Петербургский натуралист Иоганн фон Бёбер и его коллекции

А.К.СЫТИН,

кандидат биологических наук
Ботанический институт им.В.Л.Комарова РАН
Санкт-Петербург

На закате июльского вечера 1820 г. в Санкт-Петербурге от лютеранской церкви Св.Екатерины по тихим улицам Васильевского острова двигалось шествие. Люди в долгополых черных одеяниях несли факелы, погребальные жезлы, ордена на подушках, ветви и травы. Толпа любопытных, присоединившихся к процессии, проводила гроб до ворот Смоленского кладбища. Мантия и орденский меч высокопреосвященного префекта капитула Феникса легли на свежий могильный дерн. Надгробное благословение пастора Августа Гана и торжественно-скорбная литургия завершили печальный обряд. Вольные каменщики северной столицы простились с вождем братства — Иоганном фон Бёбером.

Этот год был тревожен для государя Александра I — в мае пожар уничтожил часть корпуса любимого им Царскосельского дворца, а в октябре вспыхнули волнения в гвардейском Семеновском полку. Наполеон, тогда уже угасавший на острове Святой Елены, диктовал последние главы мемуаров. Едва ли полагал низверженный полководец, что к его падению причастен и скромный инспектор 2-го Кадетского корпуса. О влиянии Бё-



Андрей Кириллович Сытин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела «Гербарии высших растений» Ботанического института им.В.Л.Комарова РАН. Область научных интересов — историография ботаники, в частности судьба ботанических коллекций и коллекторов.

бера на ход мировой истории не подозревали и хорошо знавшие его люди. Так, генерал Л.И.Халютин, вспоминая годы учения, пишет: «Инспектором классов был тогда действительный статский советник Иван Васильевич Бёбер, бывший в то же время гроссмейстером масонской ложи в Санкт-Петербурге, человек высокого ума и образованности, самый благонамеренный и добрый, но уже в таких преклонных летах, с которыми деятельность несовместима, главное же, он не знал русского языка и не мог лично удостовериться, как преподают учителя в классах и как отвечают кадеты, те и другие делали из этого большие злоупотребления» [1].

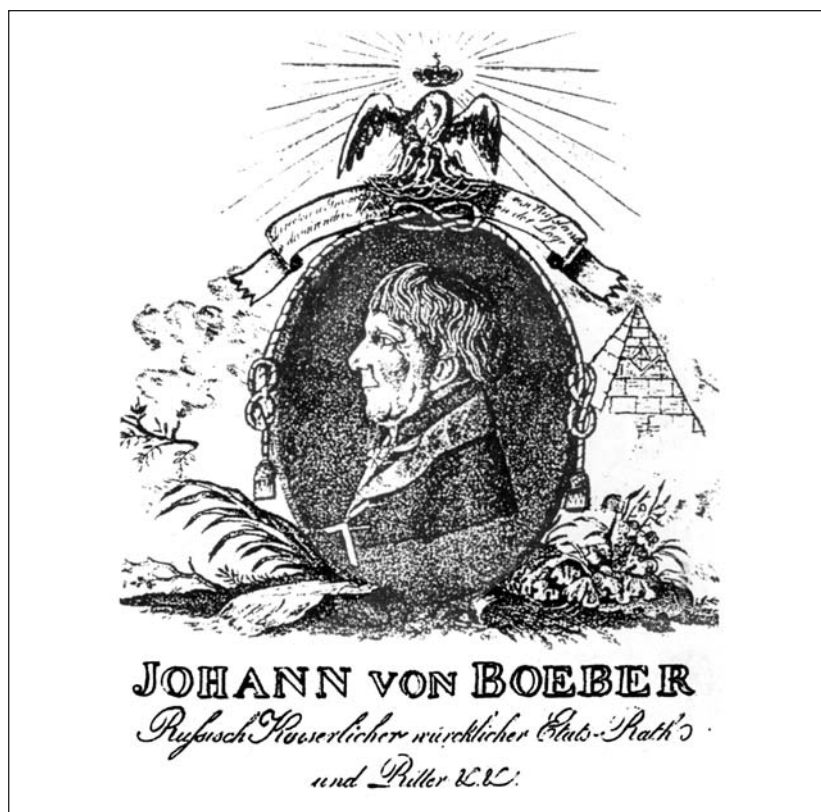
Иоганн фон Бёбер, называемый у нас Иваном Васильевичем, родился 22 декабря 1746 г. в Веймаре (Германия). В 30-летнем возрасте он прибыл в Россию, в декабре 1776 г. был экзаменован Петербургской академией наук на звание «вольного учителя». Рапорт библиотекаря Л.Бакмейстера аттестует соискателя как знающего старую и новую литературу и упражняющегося в немецкой поэзии. Этот «действительно ученый человек может выбирать способы к обучению и имеет дарование предлагать живо и приятно» [2]. Бёбер, несколько лет преподававший в Петербургской школе Св.Петра, в 1783 г. был назначен инспектором

классов 2-го Кадетского корпуса, когда директор училища, граф П.И.Мелиссино, расширил программу старейшей военной школы, готовившей военных инженеров и артиллеристов, дополнив учебный план географией и естественной историей. Эти предметы поручались Бёберу [3].

О частных ученых занятиях Бёбера в Петербурге известно, что его интересовала флора окрестностей северной столицы, где он обнаружил немало редких растений, о чем упоминает в своей «Flora Petropolitana» Г.Ф.Соболевский (1799). Архитектор Николай Львов, живо интересовавшийся самыми разными аспектами культуры, описал ботаническую экскурсию на Дудергофские высоты, совершенную им вместе с Бёбером и графом А.А.Мусиным-Пушкиным 8 мая 1792 г. Незаурядное положение Бёбера в избранном кругу коллекционеров подтверждает факт из истории изучения знаменитого аэролита — Палласова железа. Мельчайшие частицы этой многопудовой глыбы, доставленной с берегов Енисея в Петербургскую кунсткамеру, ценились знатоками как священные реликвии. Образцы распространялись среди избранного круга коллекционеров благодаря посредничеству Бёбера [4].

Как известно, Екатерина II очень неблагосклонно смотрела на деятельность масонских лож, видя в них угрозу существующему порядку. Ее указом от 15 июня 1792 г. Бёбер был направлен из Петербурга в Екатеринослав для организации народных училищ. В.С.Попов, управляющий делами кабинета императрицы, «препоручал его в особое признание» к правителю Екатеринославского наместничества генерал-майору В.В.Каховскому, с выплатой жалования 1000 рублей в год.

О величии замыслов Потемкина, основавшего Екатеринослав в 1786 г. ради просвещения степного края, напоминали ан-



Портрет Иоганна фон Бёбера с гравюры Фридриха Дюрфельдта.

тичные портики и колоннады собора, консерватории и университета. В устройении последнего надеялся быть полезным и Бёбер. Лишь небольшое из задуманного осуществилось, но годы, проведенные им в Новороссии, были исполнены деятельности. Отправляясь к месту назначения осенью 1792 г., Бёбер следовал почтовым трактом через Москву, Тулу, Мценск, Курск, Белгород, Харьков и Кременчуг. По мере движения на юг он отмечал появление новых видов растений. П.С.Паллас, оценив меткость ботанических наблюдений Бёбера, обнаружил их в своем журнале «Neue Nordische Beiträge». В Екатеринославе Бёбер прилежно изучал флору и фауну (главным образом насекомых). Он опубликовал список, включающий 1101 вид высших растений, которые обнаружил в Екатеринославском наместничестве и в Крыму.

Богатый интересными находками (среди них и редчайшая *Symbosma borysthenica* — цимбохазма днепровская) труд лишен указаний на местонахождение видов. Бёбер свидетельствует об изменениях в растительном покрове окрестностей Екатеринослава, где, по его словам, еще недавно произрастали «изобильнейшие и густые леса, коих мы еще очевидные следы встречаем там, где ныне в больших пространствах ни одного дерева не видно, наисильнейшее сопротивление осенью и весной препятствовали всеиссушающим восточным и северным ветрам.<...> Многие растения многолетние, кои любитель ботаники теперь токмо как некоторые особенные редкости замечает, произрастали во множестве в щедрой почве», — сообщил он в письме, напечатанном в «Трудах Вольного экономического общества» [5].



Автограф Бёбера — этикетка *Astragalus hamosus* L., астрагал крючковатый, собранный 23 июля 1793 г. близ Симферополя.



Автограф Бёбера — этикетка *Astragalus glycyphyllos* L., астрагал солодколистный, собранный близ Екатеринослава.

По мнению Бёбера, защитой от опустошающих суховеев могли бы стать искусственно насаждаемые леса. С этой целью он начал интродуцировать в украинские степи породы иностранных деревьев. В заложенном им дендрарии выращивались выписанные из Берлинского питомника фон Бургсдорфа саженцы катальпы, гледичии, белой акации, красной шелковицы, тюльпанного дерева, тополей (бальзамического и осокоря), белого дуба и сахарного клена. Особенно перспективной ему казалась культура сумаха (*Rhus coriaria*) — дубителя, применяемого в кожевенной промышленности. Некоторые деревья погибали, другие акклиматизировались и стали обычными в городах и селениях

Украины. Таким образом, к начинателям системы агрономических мероприятий по степному лесоразведению можно причислить и Бёбера. Почвы его также интересовали. Описывая свойства чернозема, Бёбер заметил, что он образуется «из перегнивших трав».

Весной 1793 г. он отправился в Крым. Собирал растения в окрестностях Симферополя, совершил восхождение на гору Чатыр-даг, был в Алуште и в Алушке. Несоответствие богатства флоры южного берега Крыма с бедностью его энтомофауны удивило его. Вернулся в Екатеринослав Бёбер в середине июля, собрав Астрагал солодколистный. Его маршрут восстановлен по датам на этикетках собранных им растений, храня-

щихся в гербариях Берлина и Петербурга [6]. Этикетки Бёбера можно было бы признать безупречными, если бы на них значилось имя коллектора.

Мы не знаем, состоялось ли знакомство Бёбера с натуралистом К.И.Габлицем, влиятельным чиновником крымской администрации. С бароном Ф.М.фон Биберштейном, в то время секретарем графа М.В.Каховского, а позднее известным ботаником, автором «Крымско-Кавказской флоры», Бёбер состоял в переписке, как и с Палласом, поселившимся в Крыму в 1795 г. В трудах последнего немало ссылок на образцы животных и растений, полученных от неутомимого коллектора. В 1796 г. Бёбер избирается членом-корреспондентом Петербургской

академии наук. После смерти Екатерины он снова получил прежнее место инспектора 2-го Кадетского корпуса, которое и занимал до самой смерти.

Память о Бёбере сохранилась в анналах наук описательных. В 1793 г. он назвал открытый им вид шелкопряда собственным именем (*Bombyx oebera* Boeber), что кажется сегодня не вполне этичным. Энтомологи того времени — И.Х.Фабрициус, Г.Фишер фон Вальдгейм, И.Ф.Эшшольц, М.И.Адамс и др. — назвали в честь Бёбера более десятка видов насекомых. В 1901 г. новый род бабочек (*Boeberia* Prout.) был выделен по номенклатурному типу из семейства бархатниц (*Satyridae*) — *Papilio parmenio*, описанной Бёбером из Сибири. К.Л.Вильденов (1765—1812), глава берлинских ботаников, посвятил Бёберу название рода растения из семейства сложноцветных (*Boeberia chrysanthemoides* Willd.), обнаруженное им в четвертом издании линеивской «Species plantarum» в 1803 г.

Почему Вильденов назвал именем «знаменитого русского ботаника» растение, собранное французским путешественником Андре Мишо в североамериканском штате Иллинойс? Бёбер, весьма тонкий наблюдатель, был особенно внимателен к представителям семейства сложноцветных. Многие образцы полученных от него в Берлине видов оказались новыми для науки: полынь таврическую (*Artemisia taurica*) из южных степей Восточной Европы, а с меловых склонов Донца — полынь поникшую (*A.nutans*). А может быть, сыграла роль распространенность Бёбера в североамериканских прериях? Свободолюбивые франкмасоны в то время устремляли надежды к берегам независимых Соединенных Штатов.

Как бы то ни было, но Бёберá как ботанический раритет (ее выращивали из семян, полученных из Флориды) упомянута в перечне растений так называ-



Растение *Boeberia chrysanthemoides* Willd. из семейства сложноцветных. Названо в честь Бёбера.



емого Орловского сада графа Григория Владимировича Орлова (1777—1826), сенатора, камергера и писателя. Сад был основан в 1809 г. на Елагином острове в Петербурге. Недолго существовавший и почти забытый, Орловский сад известен по каталогу, изданному в Лондоне в 1815 г. под редакцией исследователя флоры Северной Америки немецкого ботаника Ф.Т.Пурша [7]. Список этот поражает изобилием эпонимов — названий родов растений, данных в честь каких-либо выдающихся лиц. Здесь имеются роды, носящие имена ученых, которых обессмертил сам Карл Линней, например *Gleditsia*, названная в честь Иоганна Готтлиба Гледича (1714—1786) — берлинского ботаника и педагога, учителя Палласа и Гильденштедта, иностранного члена Петербургской академии наук и Вольного экономического общества. *Siegesbeckia* названа Линнеем именем Иоганна Геор-

га Сигезбека (1685—1755), директора Петербургского ботанического сада, позднее прославившегося резкой критикой линеивской системы. Есть в списке род *Koelreuteria*, названный Эриком Лаксманом (1737—1796) в честь Иозефа Готтлиба Кельрейтера (1733—1806), чьи опыты по межвидовой гибридизации нанесли удар учению о преформизме. Заслуги этих двух ученых, недолго присутствовавших на заседаниях Петербургской академии наук в качестве ее действительных членов, высоко ценились в ученом мире. Здесь была и *Messerschmidia*, названная в память неутомимого исследователя Сибири Даниэля Готтлиба Мессершмидта (1685—1735), чьи коллекции и материалы стали золотым фондом Петербургской кунсткамеры; роды *Jussieae*, *Buffonia*, *Lamarckea* названы в честь великих ученых Франции — Жюсье, Бюффона и Ламарка.

Одним из достижений колониальной политики являлось распространение культур экзотических полезных растений на благо всего человечества. В этом деле особенно велика заслуга английского ботаника сэра Джозефа Бэнкса (1744—1820) — участника кругосветного плавания Джеймса Кука и президента Лондонского королевского научного общества. Он интродуцировал в британские колонии хлебное дерево, манго и новозеландский лен. И не знаком ли уважения к его деятельности стало выращивание в дельте Невы семи эндемичных видов австралийского рода *Banksia*? Здесь росла привезенная из Закавказья в 1805 г. изящная *Puschkinia scilloides Adams*, названная по имени геолога, исследователя Кавказа графа А.А.Мусина-Пушкина (1760—1805). Была и *Jeffersonia*, выписанная из штата Виргиния и именованная в честь Томаса Джефферсона (1743—1826) — американского просветителя и третьего президента США (1801—1809). Излишне перечислять все роды-эпонимы сада Орлова. Их комментирование может составить предмет особого исследования. Ряд названий, выбранных из обширного списка, указывает на достоинство лиц, в числе которых оказались и Бёбер.

В ночь с 15 на 16 июля 1820 г. И.В.Бёбер скончался, оставив значительную коллекцию насекомых и гербарий. Вдова покойного — Анна Васильевна Бёбер (1753—1841), зная о ценности собрания мужа, предложила его Петербургской академии наук. Ординарные академики А.Ф.Севастьянов и А.И.Шерер, направленные в качестве экспертов-комиссионеров, представили следующее заключение: «В учебное собрание Академии наук 19 ноября 1820 г. №444. №33. Мы нижеподписавшиеся, имеем честь донести, что прошедшего октября 31-го дня осматривали по поручению сего собрания коллекцию инсектов покойного

действительного статского советника, инспектора над классами второго кадетского корпуса и кавалера г.Бёбера. Она заключается в себе более 6000 насекомых из всех отделений энтомологии. Неутомимый любитель сей любопытной части естественной истории собирал их отовсюду и вспомоществуемый почти всеми знаменитыми энтомологами в Европе и многими путешественниками действительно приобрел драгоценность, заслуживающую удивления не только по большому оных количеству, но и по неутомимости, употребляемой им на собиране, расположении и описании оных. Сей кабинет насекомых, в котором весьма мало дуплетов, собранный с величайшим тщанием, систематически расположенных, между которыми находится самец и самка, определенных с особливою точностью и подписанных ученым по энтомологии мужем, действительно приводит в удивление и заслуживает внимания всякого ученого общества.

Коллекцию составляют российские насекомые из всех губерний, особливо из южных, как то Екатеринославской, которую объезжал сам г.Бёбер; из Кавказа; и обширной, еще столь недостаточно по естественной истории описанной Сибири. Украшают также оную драгоценнейшие породы жесткокрылых насекомых или бабочек Южной и Северной Америки, некоторые африканские и Восточной Индии и даже китайские. Также разных стран Европы, как то Португалия, Венгрия, Германия. Бёбер не упустил роды из новых видов и родов Латрейлем, Иллингером*, другими в энтомологию введенных.

8 ноября 1820 г. А.Севастьянов, А.Шерер» [8].

По приблизительным подсчетам, коллекция насекомых

* Латрейль Пьер Андре (1762—1833) — французский энтомолог. Иллингер Иоганн Карл Вильгельм (1775—1813) — немецкий естествоиспытатель, энтомолог.

включала около 1650 видов из отряда чешуекрылых (около 950 из них составляли ночные бабочки) и 650 видов жуков. Гербарий, согласно реестру составленному самим Бёбером, — 6783 вида растений.

Академия наук была заинтересована в приобретении частных собраний. Из коллекций Кунсткамеры к тому времени уже обособился Зоологический музей, близилось создание Ботанического (1823), а потому вопрос был вынесен на обсуждение. Однако, несмотря на значительную научную ценность коллекций, Академия их не получила.

3 января 1821 г. сенатор Е.А.Кушелев обратился к князю А.Н.Голицыну, стоявшему во главе Министерства духовных дел и народного просвещения, с предложением о покупке коллекции Бёбера и представил реестр. Министр передал дело на рассмотрение Ученого комитета Главного правления училищ, откуда в свою очередь обращение поступило в Экспедицию снабжения училищ пособиями по части естественной истории.

24 января 1821 г. три эксперта рассмотрели коллекцию (в то время находившуюся в квартире самого Кушелева). 26 февраля они представили свое заключение в Ученый комитет. Коллекция была оценена ими как превосходное и одно из лучших в Европе собрание. Многообразие видов, систематичность, тщательное этикетирование каждого экземпляра Бёбером доказывали «великие знания и неутомимый труд, употребленный им на составление сего собрания». Мы цитируем остальные пункты документа, содержащего важные сведения о коллекциях и вводящего в курс нелегких обстоятельств их продажи:

«2. Оное собрание заключается в пятидесяти шести ящиках со стеклами; полагая на каждый только по сту насекомых, составит сие до 5.600 образцов, но в некоторых [ящиках] содержится и гораздо более; сверх то-

го многим породам имеется самец и самка.

3. Вместе с сим собранием предлагается к покупке также и гербарий, заключающий в себе до шести тысяч семисот восьмидесяти трех видов растений.

4. Вдова покойного Бёбера объявила, что супруг ее говаривал, что оставляет в оных собраниях капитал в пятьдесят тысяч рублей, а она соглашается уступить за сорок тысяч государственным ассигнациями.

5. Экспедиция отдавая всю справедливость изяществу помянутого собрания насекомых, но сообразуясь с качеством вещей <...> полагает цену оного от десяти до пятнадцати тысяч рублей государственным ассигнациями; а вместе с гербарием до двадцати тысяч рублей ассигнациями.

6. При сем, Экспедиция долгом ставит изъяснить также и то, что собрание сие насекомых не может быть делимо на коллекции в пользу гимназий, ибо оно заключает в себе полную систему без дуплетов, так что раздробление оного повредило бы ценность системы, а для гимназий составило бы только неполные отрывки.

7. В целости же своей собрание сие может отличную доставить пользу какому-либо университету, ежели высшему начальству приобретение оное благоугодно будет.

8. Что же касается до гербария, то оный может быть делим также и в пользу гимназий. О всем том Экспедиция честь имеет представить на благорасмотрение Ученого комитета, возвращая при сем реестр означенного собрания. Василий Севергин, Андрей Теряев, Александр Севастьянов» [9].

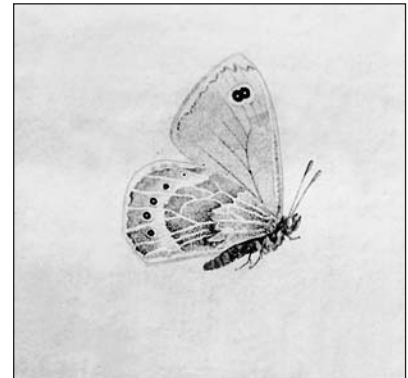
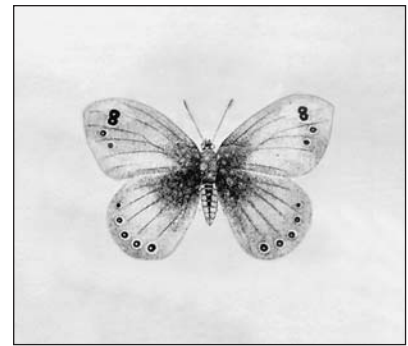
1 февраля 1821 г. вдова Иоганна Бёбера обратилась к Голицыну с прошением: «Сиятельный князь, Милостивый государь! Супруг мой, действительный статский советник, 2-го Кадетского корпуса инспектор и кавалер Иван Васильевич Бёбер, известный в ученом

свете из иностранных профессоров, оставил свое отечество, посвятив познания его и жизнь свою на всегдашнее служение России, служил Российскому престолу 49 лет и, продолжив с отличною честью, доверенностию начальства и общою любовью в 2-м Кадетском корпусе 37 лет, по самую кончину его, недавно последовавшею, все свое, единою службою стяжание по особой склонности своей к энтомологии и ботанике, употребил на составление редкой и, может быть, единственной коллекции бабочек и насекомых, также и разных редких и иностранных гербариев: вот есть то, что он в жизнь свою приобрел и все то, что после него в наследство осталось.

Я, по преданности покойного супруга моего к Российскому престолу и соответственно желанию его, желаю, чтобы оныя его труды, и по смерти его, служить могли к какой-либо пользе в России, хотя многие, а особливо англичане, упомянутые коллекции у меня торгуют, долгом моим почитаю довести о сем до сведения Вашего Сиятельства с тем, не благоугодно ли будет обратить на оное ваше внимание» [10].

26 февраля 1821 г. Ученый комитет принял решение, которое было сообщено Кушелеву: «Уступить собрание насекомых за 10 тыс. рублей, дабы после того можно было предложить учебным заведениям покупку оного».

Мы опускаем тягостные подробности попыток продажи коллекций вдовой и получаемые ею бюрократические отписки. Упомянем, что 21 февраля 1823 г. теперь уже сын Бёбера — Карл, подполковник Пажеского корпуса, исполняя волю отца, дабы коллекция осталась в России, обратился с прошением к самому государю, умоляя его «Высочайше повелеть принять оное собрание в какое благоугодно будет учебное заведение. А как при моем недостаточном состоянии сие собрание составляет единст-



Бабочки *Papilio parmenio* из семейства бархатниц (*Satyridae*), описанных И. Бёбером.

венное мое имущество и наследство, то я с глубочайшим благоговением и всеподданнейшею благодарностию приму милость Вашего Императорского Величества, каковую Высочайше удостоить соизволите».

«Просительное письмо», по правилам субординации поданное через начальника Кадетского корпуса генерала артиллерии И.Г.Погеля, оказалось в канцелярии великого князя Константина Павловича. Цесаревич направил краткую реляцию к Голицыну. Требуя решения по делу Бёбера, он дал директиву: «Принять коллекцию насекомых и гербарий в какое-либо учебное заведение и об изъяснении за сие Монаршей милости, с просьбой не оставить уведомлением на сие письмо заключением. Генерал-инспектор всей Кавалерии, Константин».

28 февраля Голицын уведомил царя о производстве, предпринятом в отношении коллек-

ций Бёбера, и уклончиво заключал, что если «Его Императорскому Величеству благоугодно будет помянутые собрания принять и назначить для какого-либо высшего учебного заведения, то они по изяществу его для такого заведения будут весьма полезными».

Высочайшее вмешательство не осталось без последствий. По выписке от 29 марта 1823 г. известно, что исправляющий должность попечителя Санкт-Петербургского учебного округа Д.П.Рунич «отозвался, что желает приобрести означенное собрание насекомых и гербарий для Петербургского университета. Однако если Департамент народного просвещения примет на себя за сии пособия 10 тыс. рублей на счет Университета, обязуясь погасить долг в течение пяти лет, выплачивая по 2 тыс. рублей ежегодно <...> поелику уплата всей означенной суммы в одно время будет обременительна для Университета».

8 мая 1823 г. исправляющий должность попечителя донес, что осматривал упомянутое собрание насекомых и гербарий (травник) и нашел, что:

«Оба [собрания] сохранены в наилучшем виде и целости и составляют, особенно первое, такую учебную драгоценность, какую, заплатив втрое, едва ли отыскать можно.

Расположение насекомых сделано самое правильное, каждый род представляет самца и самку, и под каждым экземпляром находится номер, соответствующий каталогу, и латинское название.

Редкость и красота некоторых пород, сохранение цвета, блеску, наружного образования некоторым родам придают такую цену, которую, смело сказать можно, и определить трудно.

Бёбер, известный по своей охоте к энтомологии и вообще по сведениям в науках естественных как знаток, сие драгоценное собрание, не щадя ни трудов, ни издержек, в продолжении многих лет довел до такой полноты, что достоинства редкости и красоты некоторых пород насекомых, как сказано выше, делают собрание сие драгоценным. Благонамеренный сын, не желая чтобы трудами покойного отца его воспользовались другие госу-

дарства, можно сказать, не прощает его, а жертвует своему Отечеству. Исправляющий должность попечителя, Дмитрий Рунич» [11].

Итак, собрание насекомых и гербарий Иоганна фон Бёбера летом 1823 г. поступили во владение молодого Санкт-Петербургского университета. Карл Бёбер должен был получить за коллекции отца 11 тыс. рублей «с выдачей оных из хозяйственных сумм университета».

От большинства частных собраний не осталось и следа. Не сохранилась, по-видимому, и энтомологическая коллекция Бёбера, но судьба ботанической — счастливее. Типовые образцы хранятся в гербарии К.-Л.Вильденова в Ботаническом музее (Берлин-Далем), некоторое количество экземпляров собранных им растений недавно обнаружено в гербариях Петербургского университета и Ботанического института им.В.Л.Комарова РАН. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-06-80193.

Литература

1. Халютин Л.И. Воспоминания в кадетском корпусе за полвека назад // Современник. 1858. Т.71. №10. Отд.1. С.647.
2. Материалы по истории Санкт-Петербургского университета. XVIII век: Обзор архивных документов / Сост. Е.М.Балашов, О.В.Иодко, Н.С.Прохоренко. СПб., 2001.
3. Жерве Н.П., Строев В.Н. Исторический очерк 2-го Кадетского корпуса. 1712—1912. Т.1. СПб., 1912.
4. Еремеева А.И. Рождение научной метеоритики. История Палласова железа. М., 1982.
5. Бёбер И.В. Примечания о различных предметах хозяйства в Екатеринославском наместничестве // Тр. Вол. жен. об-ва. 1795. Т.50. С.190.
6. Бёбер И.В. О некоторых вредных насекомых в Таврии // Тр. Вол. жен. об-ва. 1794. Т.19. С.168—185.
7. Бобров Е.Г. Из истории ботанических садов Петербурга // Ботан. журн. 1982. Т.67. №3. С.313—318.
8. ПФА РАН. Ф.1. Оп.2. 1820. Л.4 и 4 об.
9. РГИА. Ф.734. Оп.1. №166. Л.5 об., 6 об.
10. РГИА. Л.3—4.
11. РГИА. Л.26 об.

Карбонатные платформы и колебания уровня океана (194-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)

И.А.Басов,

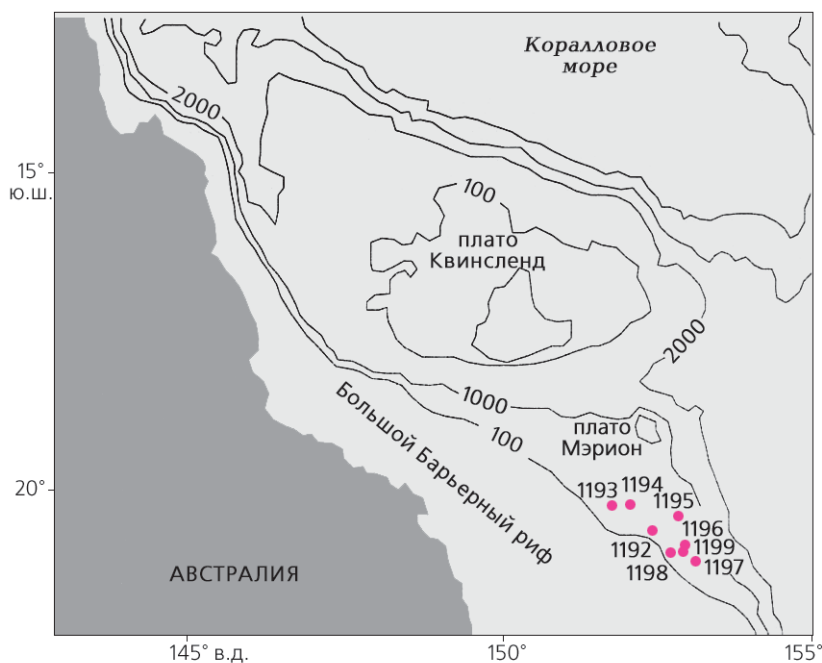
доктор геолого-минералогических наук

Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН
Москва

Построенная 35 лет назад кривая Вайла [1], которая описывает колебания уровня океана на протяжении последних 200 млн лет, уже нуждается в уточнениях и детализации. Один из наиболее подходящих для этого объектов исследований — подводные карбонатные платформы, растущие за счет накопления на них осадков в периоды высокого стояния уровня океана и прекращающие рост при его падении.

Поэтому внимание участников 194-го рейса «ДЖОИДЕС Резолюшн» привлекла структура такого рода, расположенная вблизи северо-западного побережья Австралии. Карбонатная платформа Мэрион, сформировавшаяся в субаэральных условиях в палеогене, представляет собой элемент континентальной окраины, медленно погружавшейся в кайнозойское время. Рейс проводился в январе—марте 2001 г. под руководством А.Р.Айзерн (Национальный научный фонд США), Ф.С.Анселметти (Высшая техническая школа Элденгесс, Швейцария) и П.Блама, представителя Программы океанского бурения [2].

Предполагалось, что материалы бурения вместе с данными сейсмостратиграфических исследований, проведенных здесь



Положение скважин, пробуренных в 194-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн» (кружки с номерами).

Числа на изолиниях — глубина в метрах.

ранее, позволят уточнить состояние уровня океана на рубеже среднего и позднего миоцена, на кривой Вайла оно отмечено резким падением.

В рейсе пробурено 16 скважин в восьми точках (1192—1199), расположенных в интервале глубин 304.2—419.9 м. Максимальное проникновение

(674.9 м) было в скважине 1197В, которая пробурила нижнемиоценовые осадки и вошла в оливиновые базальты фундамента. Его породы были достигнуты еще в трех точках (1193, 1194 и 1198).

Бурение платформы Мэрион принесло неожиданные результаты. До начала работ счита-

лось, что ее южная часть начала формироваться как продолжение северной во время высокого стояния уровня океана за счет перемещения с мелководий осадков, которые накопились там в условиях его низкого положения. Но выяснилось, что обе части платформы развивались в миоцене независимо друг от друга, и сравнивать их фации для решения основной задачи рейса нецелесообразно. Тем не менее при сопоставлении разрезов скважин 1193 и 1194, пробуренных на разных глубинах в северной части плат-

формы (соответственно 348.3 и 373.9 м) и разделенных расстоянием в 20 км, оказалось, что они погружались в миоцене синхронно и, таким образом, в одинаковой мере отражали изменения уровня океана.

С учетом характера строения разрезов, степени уплотнения осадков, глубины их накопления, а также изостатического подъема коры при падении уровня океана, удалось рассчитать, что его суммарное понижение на рубеже среднего и позднего миоцена составляло 86 ± 30 м. По мнению участников

рейса, эта предварительная оценка минимальна, так как в ней не приняты во внимание возможные тектонические движения и эрозионные процессы в точке 1193. Кроме того, не исключено, что в разрезе скважины 1194 также не сохранились следы самого низкого положения уровня. В целом проведенное в рейсе бурение подтвердило, что на протяжении относительно короткого времени (12.5—11.4 млн лет), на рубеже среднего и позднего миоцена, уровень океана существенно падал. ■

Литература

1. Vail P.R., Mitchum R.M., Thomson S. Global cycles of relative changes of sea level // Seismic stratigraphy — application to hydrocarbon exploration. American Association of Petroleum Geologists. 1977. Memoir 26.
2. Isern A.R., Anselmetti F.S., Blum P. et al. // Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports. 2002. Leg 194.

География

Дрейф по Северному Ледовитому океану

В апреле 2002 г. в районе Северного географического полюса с вертолета десантировался французский врач Ж.-Л.Этьен (J.-L.Etienn) со своим псом по кличке Лине и несколькими центнерами груза, необходимого для дрейфа по Северному Ледовитому океану. Этьен не новичок в Арктике: еще в 1986 г. он первым в одиночку дошел пешком до Северного полюса. Теперь же путешественник намерен вести научные исследования в этом недостаточно изученном регионе.

Все девять квадратных метров его арктического жилья, установленного на дрейфующей льдине, заставлены научным оборудованием. Обогревается домик газом, а электроэнергию получает от солнечных бата-

рей. Основная задача Этьена — проверка и корректировка спутниковых данных. Обычно они уточняются наземными станциями, но в районе полюса таких станций практически нет: комплексы приборов с радиостанциями стоят слишком дорого, чтобы постоянно заменять их один на другой по мере таяния льдины. Ученые, соотечественники полярника, разработали для него программы исследований.

Так, специалисты по оптике атмосферы из Лилльского университета снабдили Этьена фотометрами, измеряющими уровень излучения в разных частях спектра. Данные в инфракрасной области позволяют судить о концентрации в нижних слоях атмосферы аэрозолей, вносящих свой вклад в парниковый эффект, а замеры интенсивности ультрафиолетового излучения дают сведения о толщине озонового слоя атмосфе-

ры. Измерение потока энергии, поглощаемой и отражаемой ледовым покровом, послужит для прогноза изменения климата Земли.

Палеоклиматологи, возглавляемые Д.-Д.Руссо (D.-D.Rousseau; Университет в Монпелье), поручили Этьену собрать данные о содержании пылицы в воздухе и осадках. Раньше они обнаружили пылицу средиземноморских растений (винограда и оливы) в Гренландии — в тысячах километров от мест их произрастания. Теперь ученые ожидают результатов, по которым можно будет судить о глобальном характере ветров (и не только в нашу эпоху).

К маю 2002 г. льдина с полярником, двигаясь от полюса в основном на юго-восток, прошла более 500 км, т.е. около четверти запланированного пути.

Science. 2002. V.296. №5570. P.1003 (США).

Грибы и растения

Ю.Т.Дьяков

Важнейший критерий, позволивший Р.Х.Уиттейкеру выделить грибы в отдельное царство биоты, — это осмотрное питание, причем в большинстве случаев (и для паразитов, симбионтов и сапротрофов) растительными тканями. Ферментативный аппарат грибов (гидролитические ферменты) нацелен на разложение углеводов — строительного материала и запасных веществ растений. Связи грибов с растениями, во-первых, очень древние (видимо, симбиоз этих организмов и обеспечил их выход на сушу) и, во-вторых, весьма разнообразные. Их можно свести к двум главным типам: взаимоотношениям грибов с живыми растениями и деструкциям мертвых растений.

Взаимодействие грибов с живыми растениями

Исторически самые древние ассоциации грибов с растениями — **микоризы**. Первая из них, найденная в отложениях древнейших наземных растений ринофитов, — **арбускулярная микориза**. При ней грибной мицелий располагается в межклеточном пространстве корня и образует в его клетках трофические органы — сильно разветвленные выросты, арбускулы. Отсюда и название этой микоризы.

© Ю.Т.Дьяков



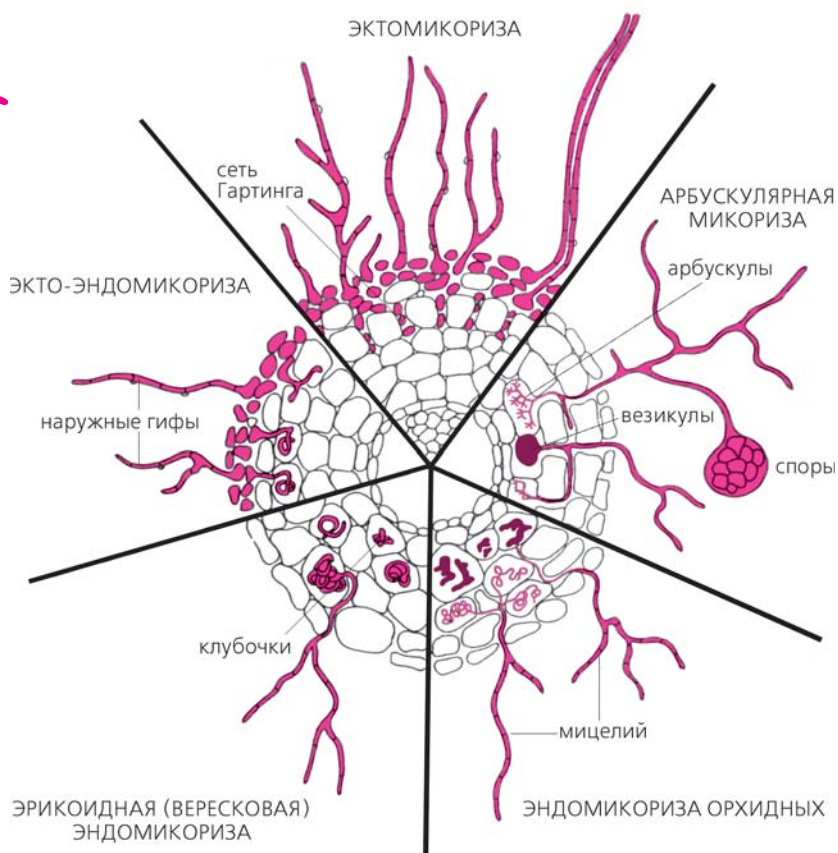
Юрий Таричанович Дьяков, доктор биологических наук, заведующий кафедрой микологии и альгологии биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Главный редактор журналов «Микология и фитопатология» и «Journal Russian Phytopathological Society», вице-президент Регионального общества фитопатологов и Национальной академии микологии. Область научных интересов — популяционная и эволюционная биология грибов, физиология и генетика фитопатогенных грибов, генетика и селекция съедобных грибов.

Что же получили растения от такого содружества? Прежде всего улучшилось корневое питание, поскольку увеличился объем почвы, охватываемой всасывающей поверхностью. Радиус грибной гифы на два порядка меньше радиуса корневого волоска, поэтому поверхность корня на единицу объема (или веса) в 100 раз меньше поверхности гифы, т.е. для продукции одинаковой всасывающей зоны растению требуется в 100 раз больше материала, чем грибу.

При таком симбиозе растения получили дополнительное питание в виде элементов, находящихся в труднодоступной форме (фосфаты). Возникла способность к межклеточной регуляции развития микроорганизмов в кортексе корня, к образованию внутриклеточных симбиотических структур, а также

к усвоению хитиноподобных метаболитов микросимбионта.

Без микоризы не было бы и симбиоза с клубеньковыми бактериями. Оба процесса — образование клубеньков и грибных арбускул — контролируются перекрывающимися генами растения. Недавно показано, что гены бобовых, продукты которых обеспечивают симбиотическую рецепцию SYMRK (symbiosis receptor-like kinase), контролируют белки со структурой, характерной для R-белков растений, выполняющих иммунные функции [1]. Отсюда — возникновение механизмов химической защиты растений, ограничивших «притязания» симбионтов. В частности, появились такие производные фенолов, как флавоноиды, не только противостоящие патогенам, но и расширившие адаптационные способности растений.



Морфологические особенности различных типов микорризы. В центре — поперечный срез корня.

Следующий тип **эндотрофной микорризы — эрикоидная** — симбиоз сумчатых грибов с вересковыми растениями, позволивший им освоить бедные почвы в экстремальных условиях (в тундрах, горах и др.).

Значительно позднее, в мезозое, возникла **эктотрофная микорриза**, вероятно, образованная базидиальными древоразрушающими грибами. Некоторые виды и сейчас формируют микорризу в ненарушенных лесных ценозах, а при антропогенных воздействиях они вызывают корневые и стволовые гнили. Эволюция эктотрофной микорризы связана с почвообразованием. Как защита от нападения базидиальных грибов появился полимер ароматических веществ — лигнин, который стал играть первостепенную роль

в глобальном цикле углерода. Его масса — 10^{11} т углерода, что составляет 25% от общей фотосинтетической продукции. В лигнине содержится больше углерода, чем в целлюлозе и других полисахаридах, значит, он основной участник и в образовании торфа, почвенного гумуса и, естественно, древесного угля. Эктотрофная микорриза обеспечила еще одну важную для фитоценоза возможность: коммуникацию между его отдельными членами и связь между корневыми системами через грибной мицелий. В опытах с использованием радиоактивно меченных элементов питания доказан взаимный обмен метаболитов [2]. Поскольку эктотрофные грибы слабо специализированы и заражают корни многих видов растений, лесной биоценоз бла-

годаря связям через микорризу можно сравнить с единым организмом.

Грибы — паразиты растений

Параллельно возникли и другие ассоциации с растениями биотрофных и некротрофных экзо- и эндофитных паразитов. В природе вследствие длительной коэволюции они — источники эндемичных болезней, которые всегда присутствуют в растительных популяциях. Однако их вред невелик, так как, во-первых, у хозяев возникает к ним устойчивость, а во-вторых, накапливаются факторы, снижающие вирулентность самих паразитов. Первая причина скорее всего характерна для однолетних, быстро эволюционирующих растений, а для популяций медленно эволюционирующих многолетних древесных растений — вторая. Например, вирулентность возбудителя рака каштанов *Cryphonectria parasitica* уменьшается благодаря миграции в популяциях паразита самореплицирующейся двухцепочной РНК. В присутствии такого «гиповируса» не функционирует один из двух генов α -субъединицы G-белка (гетеромерный белок, связывающий гуанозинтрифосфат), прекращаются индукция гена целлюбиогидролазы (*cbh1*) и секреция фермента целлюлазы, необходимого для заражения. Полагают, что фосфорилированный α -белок активирует аденилциклазу и влияет тем самым на передачу сигнала к экспрессии генов (в частности *cbh1*), участвующих в патогенезе.

Зона эндемичных болезней в отдельные периоды втягивается и выпячивается, но иногда, при очень благоприятных погодных условиях, они могут перерасти и в эпидемию. Среди многих изученных механизмов толерантности растений к эндемичным болезням важную роль играет высокий полиморфизм.

Он обеспечивает существование в популяции особей с разной устойчивостью. Когда ботаники впервые применили биохимические методы популяционного анализа растений, в частности анализ изоферментов, они были поражены, сколь высок скрытый генетический полиморфизм даже у самоопыляемых видов, которые, казалось бы, должны эволюционировать в направлении гомозиготности. Важнейшей причиной сохранения высокого генетического полиморфизма у самоопылителей не без основания считают сосуществование с грибными паразитами.

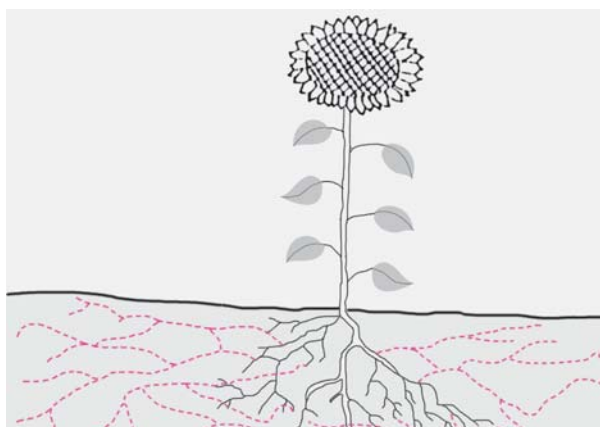
Эндифиты

Конечный результат ассоциации растений и паразитов — сумчатые и базидиальные эндифиты. В их взаимодействиях с растениями наблюдаются все переходы от паразитизма к мутуализму, при котором отношения между партнерами взаимовыгодны и раздельное существование невозможно.

Во-первых, многие эндифиты повышают жизнеспособность зараженных растений: усиливается фотосинтез и продуктивность; ускоряются прорастание семян и рост, повышается устойчивость к стрессам.

Во-вторых, изменяется онтогенез хозяев. В частности, многие сумчатые и большинство базидиальных эндифитов резко снижают семенную продукцию растений; а при неполной стерилизации — заменяют перекрестное опыление на самоопыление. Они активизируют рост, кущение и вегетативное размножение. Например, осоки из рода *Cyperus*, зараженные сумчатыми грибами из рода *Balanía*, часто не образуют семян, но дают много клубеньков и луковичек. Значит, гипотезы об эндифитном происхождении запасных органов растений (клубеньков и луковиц), высказанные некоторыми ботаниками еще 100 лет назад, не столь

Схема, показывающая, как увеличивается площадь питания микоризованного растения. Цветом изображены гифы гриба.



уж беспочвенны. Заменяя перекрестное опыление самоопылением, а половое размножение вегетативным, грибы сужают популяционное разнообразие своих хозяев, постепенно вытесняя устойчивые генотипы, заменяя их уже зараженными, т.е. восприимчивыми.

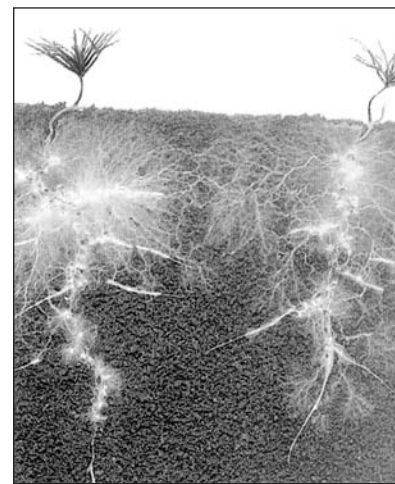
И наконец, сумчатые эндифиты злаков, относящиеся к спорыньевым, образуют в своих хозяевах алкалоиды. Эти вещества придают растениям горький вкус и оберегают их от травоядных животных (от насекомых и слизней до жвачных). Такая плата, которую гриб вносит за пансион с питанием, создает серьезные проблемы в пастбищном скотоводстве, ибо зараженные травы вызывают заболевания скота. Вместе с тем эндифиты, способствующие интенсивному кущению, защите от вредителей и болезней, весьма перспективны в селекции и разведении газонных трав.

Роль грибов в стабилизации фитоценозов

Известный зоолог Н.Н.Беклемишев считал паразитов важным стабилизирующим компонентом биоценозов [3]. Рассмотрим, как влияют грибы на гомеостаз фитоценозов.

Прежде всего **они формируют биологическое разнообразие**. Поскольку степень пора-

женности зависит от густоты стояния растений, наиболее чувствительны к патогенам конкурентоспособные и, следовательно, плотно растущие растения. Снижение их жизнеспособности (продуктивности фотосинтеза, урожая и всхожести семян) под влиянием болезни позволяет менее конкурентоспособным видам сосуществовать с ними в популяции. При формировании сложных фитоценозов фитопатогенные грибы выступают как регуляторы численности его сочленов. Например, гриб *Stachybotrys chartarum* вызывает корневую гниль проростков ветреницы дубравной *Anemona nemorosa*. В результате



Эктомикоризная сеть, обеспечивающая контакты между растущими поблизости сеянцами сосны.

примерно 20% семенных проростков погибает, не достигая поверхности почвы. У звездчатки *Ustilago violacea* возбудитель головни, стерилизуя цветки, резко снижает семенную продукцию зараженной популяции. Ржавчинный гриб *Gymnosporangium juniperinum* паразитирует на можжевельнике и рябине. Развиваясь в лесах, верхний ярус которых образует рябина, а подлесок — можжевельник, ржавчина вызывает частичную дефолиацию рябины и просветление леса, обеспечивающее рост можжевельника. Разнообразие фитоценозов способствуют не только паразитические, но и микоризные грибы.

Недавно было высказано соображение (принцип Янца—Коннела) о роли патогенов в пространственном распределении растений в фитоценозах, которое уже экспериментально подтвердилось. Например, в лесах Канады всходы дикой вишни около породившего их дерева поражаются сильнее, чем вдали от него [4]. Объяснение простое: патогенные штаммы рода

Pythium, вызывающие корневые гнили, накапливаются вблизи деревьев, причем степень их влияния тем сильнее, чем больше густота всходов.

Грибы обеспечивают сукцессию видов растений в бедных фитоценозах. На песчаных дюнах вдоль побережья Северо-Западной Европы растут многолетние злаки и осоки, размножающиеся клонально (видимо, вследствие присутствия эндодитных грибов). Развитие каждого вида проходит через несколько этапов: колонизацию, оптимальный рост, дегенерацию, замену другим видом. Причины такой сукцессии — разная степень толерантности к погодным условиям и к возбудителям корневых гнилей. При замене каждый новый вид чувствителен к заражению микроорганизмами, выделенными из почвы в области его корневой системы, но устойчив к микроорганизмам из зоны корневой системы предыдущего вида.

Грибы могут быть причиной эволюционной сегрегации видов растений. Ржав-

чинные грибы из рода *Uromyces* в уредиальной (дикариотической) стадии поражают дикие виды ячменя *Hordeum*, а в гаплоидной — виды семейства лилейных Liliaceae. При экспериментальном заражении наиболее восприимчиво к ржавчине луковичное — *Leopoldia eburnea*. Она растет в пустыне Негев на Ближнем Востоке и цветет только в короткий период дождей. В остальное время даже не выходит на поверхность и никогда в природе не поражается ржавчиной. Полагают, что болезнь отеснила *Leopoldia* как очень восприимчивый вид из генетического центра ячменя на периферию, где экологические условия неблагоприятны для ячменя и нет ржавчины.

Грибы защищают сложившийся фитоценоз от внедрения новых членов. Механизмы устойчивости к эндемичным болезням выработались как результат сопряженной эволюции. Виды растений, не эволюционирующие вместе с паразитами, попадая в новые районы, жестоко страдают от энде-



Раковое поражение ствола каштана (возбудитель болезни — гриб *Criphonectria parasitica*).



Веймутова сосна (*Pinus strobus*), пораженная ржавчиной (возбудитель *Cronartium ribicola*).

мичных болезней. Следовательно, эндемичные грибы ведут себя как рэкетеры, которые, снимая с растений некоторую долю фотосинтетической продукции, обеспечивают им «крышу».

Агроценозы

Итак, высший и низший организмы (растение и патогенный гриб) составляют целостную систему, в которой осуществляется взаимный отбор. Правила игры в ней таковы: оба вида находятся в равновесии лишь при определенных условиях. Их изменение может сдвинуть равновесие, чаще всего в пользу паразита. Колебания природных условий вызывают временные флуктуации, а антропогенные воздействия — приводят к необратимым последствиям. Такие изменения можно свести к четырем главным типам:

— пахотное земледелие с внесением удобрений резко меняет соотношение разных групп микроорганизмов в почве, давая преимущества в основном фитопатогенным видам. Снижается число микоризообразующих и сапротрофных грибов — антагонистов фитопаразитов;

— снижение фитоценологического и популяционного разнообразия растений в агроценозах по сравнению с природными ценозами обуславливает массовое накопление вирулентных штаммов фитопатогенов;

— завоз с растительным материалом новых патогенных грибов вызывает эпифитотии местных видов растений, не обладающих устойчивостью к ним. Так, гибель веймутовой сосны от ржавчины и каштанов от рака коры произошли вследствие вселения паразитов в новые районы и нападения на эндемичные растения;

— ухудшение условий жизни дикорастущих растений из-за накопления ксенобиотиков в воде, почве и воздухе, высокой рекреационной нагрузки и других факторов, связанных с деятель-

Таблица 1
Баланс углерода

Первичная продукция (ПП)	весь углерод, ассимилированный растениями
Нетто-первичная продукция (НПП)	ПП минус дыхание; часть ПП, перешедшая в биомассу растений
Нетто-экосистемная продукция (НЭП)	НПП минус потери в деструкционных процессах в течение года
Нетто-биомная продукция (НБП)	устойчивый углерод, длительно пребывающий в резервуаре

ностью людей, делает их высокочувствительными к патогенным грибам. Так, эвкалиптовые леса в Восточной Австралии погибли от корневой гнили, вызванной *Phytophthora cinnamomi*. От болезни страдали леса в местах с высокой рекреационной нагрузкой, где из-за уплотнения почвы и вытеснения воздуха корешки отмирали, открывая ворота инфекции.

Как писал известный зоолог В.Л.Контримавичус, «конфликт между стабилизирующим экосистемы механизмом, каковым являются паразиты, и человеческой деятельностью — вероятно, наиболее драматический конфликт человечества с законами существования биосферы» [5]. В перспективе ожидается усиление этого конфликта, связанное с глобальным потеплением.

Деструкция мертвых растений

Грибы, особенно гименомицеты, — единственная группа организмов, ферментативно разлагающая лигноцеллюлозный комплекс, из которого построены растения. Поэтому гло-

бальная экологическая роль грибов лежит в сфере кругооборота углерода [6]. В России его годовое депонирование в древесные растения составляет 240—245 Мт С/год, а в древесину (стволы, ветки, корни) примерно 45 Мт С/год, т.е. 20—30%. Активное участие в балансе экосистемной и биомной продукции принимают грибы.

Нетто-экосистемная продукция — один из наименее изученных компонентов углеродного баланса (табл.1). Уравновешиваются ли потери углерода в ходе деструкции его накоплением в результате фотосинтеза и каковы временные соотношения между этими процессами? Окончательного ответа пока нет.

Углеродная емкость лесного детрита зависит от двух показателей: годового поступления опада (листьев) и отпада (веток) — ΔD и скорости деструкции (табл.2). Листья разлагаются в полтора-два раза быстрее, чем древесина, что не удивительно, и кроме того, в холодном климате разрушение опада в четыре раза продолжительнее, чем в теплом [7]. В нашей стране, где наибольшие площади под лесами приходятся на хо-

Таблица 2
Суммарное содержание детрита (кг/га) в лесах разного типа [7]

Леса	Подстилка	Время разрушения, лет	Опад	
			лиственный	древесный
Теплый климат				
Лиственные листопадные	11 480	2.7	4236	891
Хвойные вечнозеленые	20 026	4.6	4432	1107
Холодный климат				
Лиственные листопадные	32 207	10.2	3854	1046
Хвойные вечнозеленые	44 574	17.9	3144	602

Таблица 3

Соотношение углерода и других элементов минерального питания при разрушении древесины грибами [7]

	Потери веса (%)	C/N	C/P	C/K	C/Ca	C/Mg
Неразрушенная древесина	0	247	3643	343	135	1787
Разрушенная древесина	29	175	2587	243	96	1288
То же	46	133	1967	185	73	965
То же	64	89	1311	123	49	643
То же	82	44	655	62	24	322
Грибной мицелий	-	35	505	115	60	485

лодную зону, ежегодно разлагается примерно 10% опада.

Как показали В.А.Мухин и Н.Т.Степанова, большая часть (до 80%) продуктов распада древесины превращается под действием грибов в углекислый газ и лишь 15–35% идет на построение мицелия [8]. Таким образом, грибы завершают углеродный цикл, начатый фотосинтезирующими растениями. Переход углерода в CO₂ сопровождается освобождением других элементов, связанных в растительных клетках (табл.3).

За дальнейшие пути реализации углерода и других элементов питания ответственны организмы, которые питаются мицелием и плодовыми телами древоразрушающих сапротрофов (главным образом беспозвоночными).

Рассмотрим, наконец, нетто-биомассную продукцию углерода, которая длительные сроки сохраняется в резервуаре (болотах — 113,5 Гт, почве — 235–366 Гт, древесине — 34,4 Гт). Наиболее подвижный углерод, хранящийся в почве (углерод гумуса), разлагается в результате микробиологических процессов,

в которых активно участвуют и грибы. Поскольку их масса составляет примерно 90% от биомассы остальной почвенной микробиоты, соответствен и их вклад в разложение почвенного гумуса. Наименее подвижен углерод болот: его ежегодный импорт болотной растительностью составляет 20 г/м², а эмиссия в виде углекислого газа и метана — 0,1–2,5 г. Поскольку в болотах преобладают анаэробные условия, основные деструкторы органического углерода не грибы, а бактерии.

Наконец, грибы, главным образом базидиальные, — единственные природные первичные деструкторы древесины. Процесс этот — очень медленный, зависит от толщины стволов и ветвей, видов грибов, климатических условий. Например, до полного разложения крупных стволов тсуги из семейства сосновых проходит около 3 тыс. лет, а мелких веток — от двух до 20 лет. В среднем релаксация углерода в древесине составляет 500–600 лет [9]. Быстрее всего связанный углерод освобождается при хозяйственном или

случайном (в результате лесных пожаров) сжигании древесины.

Таким образом, люди в результате своей деятельности выводят из медленного оборота огромные массивы древесины, приводят их к быстрой минерализации, несравнимой с естественной скоростью связывания, создавая тем самым глобальные экологические проблемы.

* * *

Многообразные формы взаимоотношения грибов с растениями обусловили и их использование в биотехнологиях. Сегодня микоризация растений, способствующая повышению продуктивности и устойчивости к патогенным организмам — широко распространенный стандартный прием в сельском и лесном хозяйствах. Ферменты древоразрушающих грибов, утилизирующие лигнин, стали основой технологических процессов в деревообрабатывающей промышленности многих стран. Контролирующие эти ферменты гены клонированы и перенесены в технологически удобные микроорганизмы (например, дрожжи). Нашли практическое применение даже фитопатогенные грибы. Споры некоторых видов накапливают в ферментерах и используют в качестве микогербицидов для опрыскивания засоренных посевов сельскохозяйственных культур. Несомненно, по мере изучения молекулярных механизмов фитопаразитизма горизонты практического применения грибов будут расширяться. ■

Литература

1. Strackle S., Kisner K. et al. // Nature. 2002. V.417. P.959–962.
2. Simard S.W., Perry D.A. et al. // Nature. 1997. V.388. P.579–582.
3. Беклемишев И.Н. Возбудители болезней как члены биоценозов // Биоценолог. основы сравн. паразитологии. М., 1970. С.334–352.
4. Packer A., Clay K. et al. // Nature. 2000. V.404. P.278–281.
5. Контримавичус ВЛ. // Журн. общ. биологии. 1982. Т.423. Вып.3. С.292–302.
6. Кругооборот углерода на территории России / Под ред. Г.А.Заварзина. М., 1999.
7. Boddy L., Watkinson S.C. // Can. J. Bot. 1995. V.73. P.1377–1383.
8. Мухин В.А., Степанова Н.Т. // Экология. 1976. №6. С.42–45.
9. Исаев А.С., Коровин Г.Н. Углерод в лесах Северной Евразии // Кругооборот углерода на территории России. М., 1999. С.63–95.

Новости науки

Астрофизика

Связь между черными дырами и сверхновыми

По современным представлениям, звезда с массой больше $8-10 M_{\odot}$ в конце жизни взрывается как сверхновая и, в зависимости от массы, оставляет после себя нейтронную звезду или черную дыру. Астрономами получены доказательства существования свыше десятка черных дыр, однако прямых свидетельств, которые связывали бы их со сверхновыми, до сих пор не было. Ситуация может измениться благодаря исследованиям черной дыры GRO J1655-40 — первого такого объекта, у которого удалось с довольно высокой точностью измерить собственное движение.

Непосредственно черные дыры невидимы, но их можно обнаружить косвенно, по излучению падающего на них окружающего вещества. Кроме того, у черной дыры GRO J1655-40 оказался спутник. Высокое разрешение Космического телескопа Хаббла позволило международной группе астрономов из Аргентины, Бразилии, Германии, Мексики и Франции по снимкам 1996 и 2001 гг. измерить скорость движения двойной системы черная дыра—звезда в картинной плоскости, скорость же ее движения по лучу зрения была определена по спектроскопическим данным, полученным с помощью наземных инструментов. Результат оказался удивительным: черная дыра GRO J1655-40 несется сквозь пространство со скоростью около 100 км/с, что в четыре раза больше средней скорости звезд в этом районе Галактики. Такие же высокие скорости, достигающие многих сотен километров

в секунду, имеют и нейтронные звезды. Как сейчас предполагается, нейтронная звезда приобретает высокую скорость в момент рождения при вспышке сверхновой по причине несимметричности взрыва, что может быть обусловлено рядом физических факторов, например неравномерным распределением плотности в ядре предсверхновой или наличием в нем сильного магнитного поля. По сравнению с типичной нейтронной звездой черная дыра GRO J1655-40 движется относительно медленно, но это объяснимо: она гораздо массивнее, и ее труднее разогнать.

Сейчас черная дыра находится в 6000—9000 св. лет от Солнца, в созвездии Скорпиона. Она движется примерно в направлении Солнечной системы, что привлекло к ней внимание СМИ. Журналисты попытались сделать из этого сообщения сенсацию, уверяя, что «Землю скоро поглотит ужасный космический монстр». На самом деле никакая опасность со стороны GRO J1655-40 нам не угрожает ни сейчас, ни в отдаленном будущем.

Astronomy and Astrophysics. 2002. V.395. P.595 (Европа).

Астрономия

Очередной рекорд пояса Койпера

Плутон, открытый в 1930 г., долгое время считался полноправным членом планетной семьи. Однако в последнее десятилетие его все чаще называют лишь самым большим объектом пояса Койпера — семейства астероидов, обращающихся вокруг Солнца за орбитой Нептуна. В начале 1990-х го-

дов причисление Плутона к астероидам, а не к планетам, все еще считалось невозможным: хотя он очевидно находится внутри пояса Койпера, разница в размерах между ним и другими транснептуновыми объектами казалась слишком разительной, чтобы их можно было признать членами одного класса. Диаметр Плутона — около 2300 км — существенно превышает типичный для транснептунового астероида поперечник в несколько сотен километров.

Однако в поясе Койпера обнаружено уже несколько объектов, диаметр которых приближается к 1000 км, и планетарные позиции Плутона становятся все более шаткими. На ежегодной конференции Планетного отделения Американского астрономического общества М.Браун и Ч.Трухильо (M.Brown, Ch.Trujillo; Калифорнийский технологический институт, США) объявили об открытии¹ самого крупного на сегодняшний день транснептунового астероида — 2002 LM60. Они обнаружили его в начале 2002 г. с помощью Телескопа Ошина (Обсерватория Маунт-Паломар, США) как еле различимую звездочку с видимым блеском 18.5^m, медленно передвигающуюся по созвездию Змееносца. 5 июля и 1 августа 2002 г. Браун наблюдал 2002 LM60 с помощью Космического телескопа Хаббла. Великолепное угловое разрешение этого инструмента впервые позволило разглядеть видимый диск транснептунового объекта, непосредственно измерив его угловой поперечник — 40 угловых миллисекунд. Поскольку расстояние до 2002 LM60 известно, по угловому размеру легко определить

¹ <http://opposite.stsci.edu/pubinfo/pr/2002/17>

истинный диаметр астероида. Это первый случай прямого определения размера объекта пояса Койпера. Параметры других транснептуновых объектов оцениваются по видимой яркости с учетом весьма приблизительного знания отражательной способности их поверхностей.

Астероид 2002 LM60 — самый далекий объект Солнечной системы, у которого удалось различить диск. Его диаметр оказался весьма внушительным — 1300 км. Это всего лишь в два раза меньше диаметра Плутона, но больше диаметра Харона — спутника Плутона. Интересно, что по своим орбитальным параметрам этот транснептуновый астероид куда больше похож на планету, чем Плутон. Как известно, орбита Плутона настолько вытянута, что временами он оказывается ближе к Солнцу, чем Нептун. Орбита 2002 LM60 представляет собой почти идеальную окружность, опережая в этом отношении орбиты многих «настоящих» планет. По объему 2002 LM60 превосходит все астероиды из Главного пояса, вместе взятые. Состоит он, вероятно, в основном из льда с примесью камней.

Официальное название объекту 2002 LM60 пока не присвоено. Первооткрыватели предложили назвать его Квауар — в честь богатыря из мифологии индейского племени Тонгва, обитавшего в окрестностях Лос-Анджелеса. Браун уверен, что в ближайшие несколько лет будут открыты еще большие объекты.

© Д.З.Вибе,
кандидат физико-
математических наук
Москва

Планетология

Вулканы на Ио

В 1979 г. космический аппарат «*Voyager-1*» прислал на Землю изображения, благодаря которым стало ясно, что на одном из спутников Юпитера — Ио — действует вулкан. Это был первый случай обнаружения активного вулканизма вне нашей планеты. Впоследствии

оказалось, что вулканов на Ио множество, а все пространство между ними заполнено изверженными продуктами, главным образом серными, придающими ландшафту разноцветную окраску.

Столь бурный вулканизм требовал объяснения. Наиболее правдоподобным признано следующее. Три спутника, из самых близких к Юпитеру, находятся на резонансных орбитах: каждый раз, когда Ганимед делает один оборот вокруг планеты, Европа делает два, а Ио — четыре. Этот резонанс вызывает в твердом теле спутников приливы, ведущие к разогреву недр. Юпитер своим тяготением регулярно искажает форму Ио; Ганимед и Европа вносят свой вклад в эксцентricность ее орбиты, и все это усиливает вулканическую активность.

Как такие явления сказываются на геологическом строении Ио — предмет оживленной дискуссии среди специалистов. Американский планетолог К.Саган (C.Sagan) утверждал, что выбрасываемые серные продукты покрыли силикатную кору мощным слоем; другие, в том числе М.Карр (M.Carr), настаивают на том, что они образовали лишь тонкий слой. Известно, что при обильном выбросе серных продуктов их температура не превышает 700 К, тогда как базальтовые лавы на Земле разогреваются до 1300—1500 К. Приборы на борту «*Voyager-1*» и наземные телескопы зафиксировали на Ио горячие точки — до 650 К, что соответствует серному вулканизму. Но в то время чувствительность инструментов была довольно слабой для обнаружения районов с более высокой температурой.

Надежда получить необходимые свидетельства возлагалась на космический аппарат «*Galileo*», запущенный в 1989 г. и снабженный такими приборами, как камера SSI, работающая в диапазоне 400—1000 нм, и картирующий спектрограф NIMS, охватывающий диапазон между 700 и 5200 нм. Первая фиксировала лишь то, что происходит в районах с температурой >700 К и только в моменты, когда спутник вступал в тень Юпитера.

Второй идеально регистрировал и температуру, и спектральные характеристики, но при этом имел весьма ограниченную разрешающую способность: ничего мельче 120 км в поперечнике не различал (если не считать одного близкого подлета к объекту еще в декабре 1995 г.).

Из-за неполадок с прибором NIMS полезные данные были получены лишь на 13 полосах частот вместо ожидавшихся сотен. Потери были и спектры, которые при хорошем пространственном разрешении темных пятен позволили бы определить их вещественный состав. Тем не менее картина вулканизма на Ио предстала достаточно подробно. Первые же съемки с помощью SSI во время затмения Ио Юпитером указали на восемь горячих точек и еще на несколько — «подозреваемых» в активном силикатном извержении. На изображениях, сделанных NIMS, открыто 14 горячих точек с температурами от 400 до 600 К. Детальная обработка информации позволила на большинстве снимков заметить пятна с температурой >1000 К.

Продолжая облет Ио, аппарат к 1998 г. «засек» 41 горячую точку, причем все они находились в пределах темных пятен. К началу 2002 г. «*Galileo*» совершил шесть близких облетов Ио. Чем ближе к ней он подходил, тем больше проявлялась плотность расположения горячих точек, регистрируемых NIMS. Приборы фиксировали и такие детали, как скопление расселин, лавовые потоки и фонтаны, озера, отдельные горы, кальдероподобные плоскодонные впадины, плюмы расплавленных материалов и т.п. Были собраны данные для построения глобальной карты распределения температур и тепловых потоков. Эта информация показала, что вулкан Локи на самом деле представляет собой гигантское озеро лавы.

Неожиданно в 2002 г. (после того как за первые четыре года наблюдений «*Galileo*» не зафиксировал ни одного плюма в полярных областях Ио) около северного ее полюса было замечено сразу четыре плюма, причем гигант-

ских — высотой до 500 км. Умножилось и число лавовых озер, которые, очевидно, играют важную роль в процессах теплоотдачи. «На глазах» у «Galileo» в 1997 г. произошло мощное извержение вулкана Пиллан, породившего горячее пятно с температурой 1800 К, что намного превышает температуру обычного базальтового извержения.

На Земле самые горячие лавы достигали 1700—1900 К. Но такие извержения происходили только в раннюю эпоху, более 2 млрд лет назад, что свидетельствует о более высоких температурах в мантии Земли. До наших дней древние лавы сохранились плохо, и процессы их образования остаются неясными. Отсюда проистекает важность исследования вулканизма на Ио.

Science. 2002. V.297. №5590. P.2220 (США).

Физика

Визуализация нейтронов

В Институте физики высоких энергий (г.Протвино) состоялся научный семинар, на котором А.М.Горин сообщил о создании прибора для визуализации потока холодных нейтронов. Совместно с японскими специалистами разработан позиционно-чувствительный детектор на спектросмещающих волокнах, который позволяет воочию увидеть поток нейтронов и зарегистрировать профиль пучка.

Основа нового прибора — кристалл (58×58×0.4 мм³), представляющий собой пластину сернистого цинка (ZnS), легированную серебром и обогащенную изотопом лития ⁶Li. С двух сторон кристалла размещены световоды, образующие своего рода соты, которые собирают свет, выделяемый внутри кристалла, и передают его к 64-канальному фотоэлектронному умножителю (ФЭУ).

При взаимодействии нейтрона с веществом кристалла происходит ядерная реакция типа: ${}^6\text{Li} + n \rightarrow {}^3\text{H} + {}^4\text{He}$ с выделением энергии 5 МэВ, часть которой преобразуется в световой импульс в кристалле.

При этом излучаются фотоны с длиной волны 430 нм (синий цвет); они регистрируются сеткой из световодов, в которой производится смещение спектра в область зеленого цвета (500 нм). Излучение поступает на вход многоканального ФЭУ, а на его выходе получается электрический сигнал, дающий информацию о месте поглощения нейтрона. Конверсия нейтрона, представляющая собой цепочку преобразований, приводит в итоге к выходу в среднем пяти фотоэлектронов на один нейтрон.

Точность регистрации нейтрона находится на уровне 0.5 мм и определяется размером шага координатной сетки из световодов. Преимущество детектора заключается в том, что наряду с координатной информацией он выдает точную временную привязку «гибели» нейтрона.

Прибор тестировался на «теплых» нейтронах во французском научном центре в Гренобле, где имеется реактор с самым большим в мире потоком нейтронов; здесь проводятся разнообразные эксперименты, в том числе и с использованием ультрахолодных нейтронов.

Горин продемонстрировал фотографии, полученные с помощью разработанного прибора. Через эффективный поглотитель нейтронов — кадмиевый лист, имеющий небольшие отверстия или щели заданной формы, пропущен поток нейтронов, оставляющий на экране прибора соответствующий след.

До сих пор прибору не придумано названия; на выбор предлагаются: нейтронограф или нейтроноскоп.

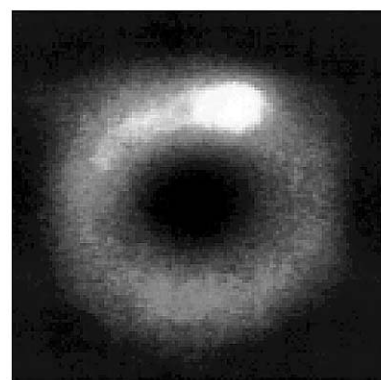
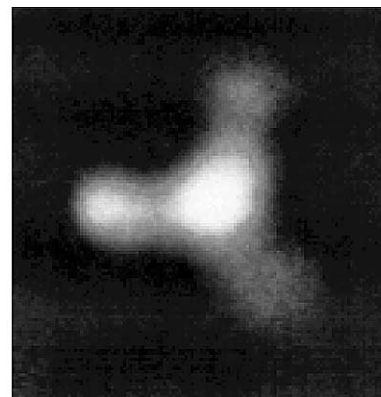
© Л.С.Ширшов

Протвино

Физика

Термометр из одной молекулы

Единичные нейтральные молекулы, имеющие электрический дипольный момент, в зависимости от его ориентации перемещаются в неоднородном электрическом



Изображение молекулы воды при комнатной температуре (вверху) и температуре жидкого азота.

поле в сторону либо большей напряженности, либо меньшей. Особенно ярко этот эффект проявляется для молекул с большим дипольным моментом — таких как вода или нафталин.

Интересный эксперимент был проведен С.В.Зайцевым (Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва)¹. На вольфрамовое или молибденовое острие (с диаметром на вершине 50—1000 нм), которое располагалось в камере с гелием и небольшим количеством паров воды или нафталина, находящимися под давлением 10⁻³ Па, высаживали отдельную молекулу из пара. Затем на острие подавали высокий положительный потенциал, и вблизи него происходила автоионизация атомов гелия; положительные ионы летели к заземленному экрану (перед ним была установлена сборка

¹ Письма в ЖТФ. 2003. Т.29. С.13.

из микроканальных пластин, позволяющая «засечь» место попадания иона с высокой точностью) и создавали на нем изображение. Поскольку поле вблизи молекулы как некоей дополнительной вершины несколько выше, чем вокруг острия в целом, молекула «светилась» ярче.

В зависимости от температуры (при одном и том же напряжении на острие) ее изображения получались разными, причем характер свечения менялся скачкообразно. Выглядело это так, будто включались дополнительные колебания.

Автор считает, что обнаруженный эффект позволяет с большой точностью определять локальную температуру поверхности именно в том месте, где находится молекула. Возможно, этот метод найдет важные практические применения.

http://perst.isssph.kiae.ru/inform/perst/2_2/index.htm

Физика

Фуллерен сжимается, но в металл не превращается

Еще недавно наибольший интерес в неорганической химии вызывали фуллерены C_{60} . Правда, в последнее время он сместился в сторону углеродных нанотрубок, однако и возможности C_{60} , как оказалось, далеко не исчерпаны.

Ученые из Института прикладной химической физики РАН (В.Е.Фортов, К.Л.Каган и др.) и Института физики твердого тела РАН (Ю.А.Осипьян, В.В.Кведер и др.) исследовали проводимость кристаллов фуллеренов при высоких давлениях¹. Выяснилось, что они очень хорошо сжимаются (например, при давлениях ~200 кбар относительное изменение объема составляет около трети) — ведь связи между отдельными молекулами в них ван-дер-ваальсовы, т.е. относительно слабые. Высокая сжимаемость ценна тем, что с изменением расстоя-

ния между молекулами существенно меняется энергия связи, а вместе с ней — и ширина энергетических зон, так что в конце концов зоны могут перекрыться и возникнет металлическое состояние. Высокопроводящее состояние в свою очередь ценно не само по себе — нужны материалы с изменяемыми свойствами (такие как полупроводники). Обнаружение эффективной связи между проводимостью и деформацией кристаллов фуллеренов открыло бы новые области их применения.

Сначала пришлось преодолеть некоторые трудности. Во-первых, фуллерен при высоких давлениях полимеризуется, причем с какой скоростью и в какой степени — зависит от многих факторов, что способно существенно запутать полученные данные. Во-вторых, в довольно большие пустоты между сферами C_{60} при подаче гидростатического давления начинают проникать молекулы компонентов жидкости, а это также влияет на зонную структуру материала. Тем не менее выход был найден. Фуллерен сжали так быстро, что относительно медленные процессы диффузии и полимеризации оказались малозначительными, но в то же время не настолько, чтобы в образце возникла ударная волна и неизбежно связанные с ней неоднородная деформация и разогрев. Свою методику авторы назвали размытой ударной волной.

Фуллерен так и не стал металлом: хотя в области давлений до 200 кбар зафиксировано увеличение его проводимости на шесть-семь порядков, ширина запрещенной зоны такого материала до нуля не уменьшается.

http://perst.isssph.kiae.ru/inform/perst/2_20/index.htm

Физика. Техника

Лазерные сети

Удивительный лазерный «пинцет» удерживает в фокусе светового пучка (мощностью в несколько милливатт) взвешенные в газе или жидкости и поляризованные элек-

трическим полем света диэлектрические частицы¹, причем работает избирательно: захватывает только частицы с хорошими диэлектрическими свойствами. Было очень важно (в частности, при испытаниях лекарственных препаратов) научиться создавать сеть таких «пинцетов»-ловушек, управляемых независимо.

Исследователи из Гарвардского университета (США) с помощью акустооптического модулятора получили несколько управляемых пучков. Их коллеги из Чикагского университета сконструировали систему, которая создает двухкоординатное поле и позволяет смещать все ловушки на небольшое расстояние в трех измерениях одновременно при наклоне голографической кварцевой пластины с дифракционным оптическим элементом. Затем совместно с фирмой «Argux Inc.» был изготовлен автоматизированный пространственный модулятор света (512×512 пикселей) «BioRyx 200», использование которого в качестве перестраиваемой фазовой маски позволило получить сотни независимых лазерных ловушек. Основа модулятора — лазер мощностью 2 Вт на иттриво-алюминиевом гранате, легированном ниодимом, с постоянной генерацией и удвоением частоты ($\lambda=532$ нм). Система улавливает частицы размером 150 нм и перемещает их в трех измерениях независимо (минимальный шаг 5 нм), причем управляет ею курсором на экране компьютера.

http://perst.isssph.kiae.ru/inform/perst/2_19/index.htm

Биология

Черепаша — специализированный хищник-засасыватель

Южноамериканская водная черепаха матамата (*Cbelus fumbriatus*) — одно из самых замечательных пресмыкающихся. Она и на черепаху-то не похожа. Вообще ни на кого не похожа. Панцирь

¹ См. также: Лазер-манипулятор // Природа. 2003. №3. С.77.

у нее с заостренными коническими выростами. Шея очень длинная. На голове хоботок, а пасть настолько широкая, что ее уголки доходят до самого заднего края головы. При этом голова и шея матаматы густо покрыты беспорядочными кожными выростами, которые свисают безобразными лохмотьями.

И вот это чудовище лежит где-нибудь на мелководье, практически неподвижно, лишь изредка вытягивая шею к поверхности воды, чтобы с помощью хоботка вдохнуть очередную порцию воздуха. При этом черепаха совсем не напоминает что-либо живое — так, полужансенная илом и заросшая коряга. Матамата терпеливо ждет, когда неосторожная рыбка окажется вблизи ее морды. Тогда пасть моментально развернется и поток воды унесет несчастную жертву в бездонную глотку хищника. Замечательная способность матаматы: не пытаясь схватить добычу челюстями, она засасывает ее, как пылесос.

Эту особенность питания матаматы исследовали биологи из ряда научных центров в Австрии и Нидерландах¹. Они изучали строение ротового аппарата черепахи, проводили скоростную видеосъемку захвата добычи, а также его киносъемку в рентгеновских лучах.

Матамата отличается специфической анатомией: уплощенный череп позволяет голове стремительно выбрасываться в сторону жертвы при минимальном сопротивлении воды; необычайно развитый подъязычный скелет обеспечивает быстрое расширение глотки; редуцированный язык не мешает току воды с добычей; неизмеримо растяжимый пищевод также способствует быстрому втягиванию большого объема воды. Весь этот комплекс своеобразных реакций уникален в среде черепах и характеризует матамату как высокоспециализированного хищника-засасывателя, своего рода наивысшее достижение эволюции питания в воде (правда, по-

¹ The Journal of Experimental Biology. 2002. V.205. №10. P.1495—1506.

жие приспособления известны у некоторых водных саламандр и рыб).

© Д.В.Семенов,
кандидат биологических наук
Москва

Этология

Ворона изготавливает инструмент!

О столь редком случае сообщили английские зоологи из Оксфордского университета А.А.Уэйр, Дж.Чапелл и А.Качельник (А.А.Weir, J.Chappell, A.Kacelnik), проведя серию экспериментов с самкой новокаледонской вороны (*Corvus moneduloides*), пойманной еще в «подростковом» возрасте и с тех пор около двух лет содержавшейся в лабораторных условиях.

Первоначально птице предъявляли на пластмассовом подносе прозрачный вертикальный цилиндр, в котором хранилось ведерко с кусочком мяса, и предлагали на выбор прямую и изогнутую проволоку, которой можно было бы извлечь контейнер с пищей.

Вместе с вороной в опытах участвовал самец того же вида, содержавшийся около 10 лет в Новокаледонском зоопарке. Эти пернатые отличаются большой общительностью и, будучи разлучены, почти теряют интерес к участию в экспериментах.

На пятой попытке самец... утащил изогнутую проволоку, но сам ею не воспользовался. Тогда ученые снабдили самку лишь одной прямой проволокой диаметром 0.8 мм и длиной 90 мм, положив ее поверх цилиндра с пищей, и в дальнейшем не вмешивались в поведение вороны, даже когда она безвозвратно роняла «заготовку» внутрь сосуда (в таком случае попытка засчитывалась как неудача).

Вскоре птица начала превращать прямую проволоку в подобие крючка и пользоваться им для извлечения ведерка с мясом. Удачными оказались девять попыток (вперемежку с семью ошибочны-



Ворона достает контейнер с пищей, используя изготовленный ею крючок.

ми). Внимательно наблюдавший за этим самец однажды успешно применил прямую проволоку, даже не попытавшись ее изогнуть (зато трижды выкрадывал у самки выуженную добычу).

Процесс изготовления «орудия труда» шел следующим образом. Сперва ворона заклинивала один из концов проволоки в кусочке липкой ленты (ею было обмотано доньшко сосуда) вплотную к подносу. Затем начинала клювом тащить противоположный конец в сторону до тех пор, пока проволока не изгибалась под углом около 75°. К такой работе она приступала через 35—43 с после начала каждого из опытов, а крючок был готов еще через 6—8 с. Во всех случаях, кроме одного, она сначала пыталась вытащить ведерко с мясом прямой проволокой (попытка продолжалась примерно 15 с), а уже потом приступала к изготовлению крючка. На все удачные операции у нее уходило не более 2 мин. Когда липкая лента отсутствовала, она просто держала проволоку в лапах, сидя на расстоянии 3 м от сосуда.

Таким образом, по крайней мере одна из птиц оказалась способна приспособлять для своих нужд и даже изготавливать «орудие труда» из подручного, но отсутствующего в природе материала. Правда, вряд ли подобное умение могло бы пригодиться ей в естественной среде.

Science. 2002. V.297. №5583. P.981 (США).

Асимметрия поворота головы при поцелуе и на портретах

Как показали исследования последних лет, человеку более свойственно поворачивать голову направо, чем налево. Это четко прослеживается уже в последние недели внутриутробного периода и в течение первых шести месяцев жизни¹.

Неожиданное романтическое развитие тема получила в работе немецкого ученого О.Пюнтюркюна². Объектом исследования стал поворот головы при поцелуе. Он наблюдал целующиеся пары в публичных местах (на вокзалах, пляжах, в аэропортах, парках) в Германии, США и Турции. Необходимыми условиями для включения в выборку были отсутствие в руках у целующихся ручной клади и их положение лицом к лицу. Из серии последовательных соприкосновений губами учитывалось только первое. Возраст испытуемых колебался в интервале 13—70 лет. Результаты исследования позволяют говорить о неярко выраженной асимметрии: из 124 целующихся пар 80 (65.5%) склоняли голову направо и 44 (35.5%) — налево. По мнению автора работы, этот феномен никак не связан с праворукостью: левши составляют лишь девятую часть населения планеты, а любителей склонять голову налево много больше — треть.

Одно из возможных объяснений «правой асимметрии» — неосознанное желание партнеров в минуты проявления чувств продемонстрировать друг другу и окружающим левую половину лица, так как она связана с правым полушарием мозга, отвечающим за эмоциональную сферу. К такому смелому выводу пришли австралийский ученый М.Е.Р.Николлс и его коллеги, исследовавшие по-

ворот головы на портретах³. Известно, что на большей части портретов модель изображена слегка в профиль, и чаще левая половина лица видна лучше, чем правая. Правый поворот головы в большей степени присущ женским портретам (68%), чем мужским (56%), и наблюдается реже на портретах членов Лондонского Королевского научного общества. Как считают Николлс и его соавторы, положение головы в этих случаях определяется желанием модели, а не удобством художника. Свое мнение исследователи мотивируют тем, что левый полупрофиль преобладает и на портретах, написанных левшами, и на автопортретах, выполненных с помощью зеркала. Большинство позирующих, особенно женщины, стремятся сделать более чувственное выражение лица и неосознанно подставляют художнику левую щеку. Ученые мужи, позирующие для галереи Королевского научного общества, напротив, хотят выглядеть более официально и поворачивают голову налево.

Чтобы проверить свою гипотезу, исследователи попросили 165 студентов по очереди заходить в комнату и позировать перед видеокамерой. При этом каждому участнику эксперимента давалось одно из двух заданий. Согласно первому игровому сценарию, каждый испытуемый должен был позировать как бы для семейной фотографии и пытаться вложить в портрет максимум эмоций. Второй группе участников надлежало изобразить хладнокровного и рассудительного ученого, которого снимают для галереи Королевского научного общества. Правый поворот головы при позировании наблюдался у 61% испытуемых, выполнявших первое задание, и у 43% испытуемых, действовавших по второму сценарию.

© К.А.Гилярова,
кандидат
филологических наук
Москва

Фуллерены помогут восстановить нарушения памяти?

О возможности использования фуллеренов в медицине и биологии заговорили с момента их открытия¹. Благодаря большому числу свободных связей, способных присоединять различные радикалы (в том числе биологически активные), их молекулы легко вступают в химические реакции. Однако исходные фуллерены C_{60} растворимы лишь в небольшом числе жидких органических веществ, что затрудняет их введение в живой организм. Для получения водорастворимых форм к ним добавляют функциональные группы. Например, карбоксифуллерены из-за высокой (в ряде случаев уникальной) противокислительной активности способны защищать нейроны от апоптоза. В экспериментах на мышах при некоторых формах склероза карбоксифуллерены показали себя как эффективные нейтропротекторы. Производные фуллеренов могут помочь при лечении острых и хронических нейродегенеративных заболеваний, например болезни Паркинсона.

Известно, что при некоторых недугах (болезни Альцгеймера, черепно-мозговых травмах) в головном мозге нарушается долговременная память. Российские ученые И.Я.Подольский, Е.В.Кондратьева (Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино) поставили эксперимент на крысах, чтобы выяснить, могут ли фуллерены препятствовать блокаде синтеза белка². Животные должны были находить невидимую спасительную платформу в бассейне с непрозрачной водой. Обучение состояло из шести последовательных проб. Крысы помещали в один и тот же сектор бассейна. В первой пробе животные, стараясь спастись, находили платформу

¹ Ververs IA. et al. // Developmental Psychobiol. 2000. V.37. №1. P.13—24; Konishi Y, Mikawa H, Suzuki J. // Developmental Med. Child Neurol. 1986. V.28. №4. P.450—457.

² Güntürkün O. // Nature. 2003. V.421. P.711.

³ Nicolls ME. et al. // Proc. Royal Soc., Biol. Soc. 1999. V.266. №1428. P.1517—1522.

¹ См., напр.: Фуллерены против гриппа // Природа. 2002. №2. С.81.

² ФТТ. 2002. Вып.44. С.552.

случайно. В последующем они использовали найденные в предыдущем опыте ориентиры, и к шестой пробе время поиска сокращалось в 10 раз. Через 24 ч эксперимент повторяли — крысы находили платформу в два-три раза быстрее, чем накануне, т.е. они сохраняли в памяти информацию о ее местоположении.

В следующий раз животным за 3 ч до начала опыта в боковые желудочки мозга вводили высокие дозы блокатора синтеза белка — циклогексимида. Теперь приобретенная информация у крыс не сохранялась: время спасения во второй день эксперимента было таким же, как и в первый. А вот животные, которым за час до инъекции циклогексимида вводили водорастворимый аддукт C_{60} с поливинилпирролидоном, синтезированный в Институте экспериментальной медицины (Санкт-Петербург), не утратили приобретенный навык.

Исследователи предположили, что долговременная память нарушается не только из-за подавления синтеза белка, но и в результате его разрушения (циклогексимида в больших дозах токсичен). Микроинъекция фуллерена, по их мнению, защищая нейроны, предотвращает нарушение долговременной памяти.

http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/2_2/index.htm

Океанология

Глубоководные гидротермы Полярного бассейна

Глубоководные гидротермальные источники, бьющие со дна океанов в местах раздвижения земной коры и обычно населенные уникальной фауной, уже хорошо известны. Поначалу их находили в Тихом и Атлантическом океанах, смена XX и XXI вв. ознаменовалась находкой гидротерм в Индийском океане¹. И вот настал черед высокоширотной Арктики.

¹ Атлантико-тихоокеанский «коктейль» на гидротермах Индийского океана // Природа. 2001. №8 С.86—87.

Строго говоря, данные о том, что в Полярном бассейне должны существовать гидротермы, имелись. Например, в сентябре 1993 г. совместная российско-германская арктическая экспедиция на ледоколе «Polarstern» получила в море Лаптевых, на самом восточном окончании хребта Гаккеля (77°45'с.ш., 125°55'в.д., глубина океана 1990 м), весьма интересную с точки зрения поисков гидротерм пробу. Она свидетельствовала о существовании гидротермальной активности и на этом хребте². Однако новые результаты, полученные в 2001 г. совместной экспедицией американского и германского ледоколов «Nealy» и «Polarstern», меняют представления океанологов об арктических гидротермах радикально.

Экспедиция работала все на том же хребте Гаккеля. Будучи продолжением Срединно-Атлантического хребта в Полярном бассейне, он протянулся более чем на 1100 км, пересекая Северный Ледовитый океан и разделяя котловины Нансена и Амундсена. Как и на всех срединно-океанических хребтах, по оси хребта Гаккеля происходит спрединг земной коры, причем здесь скорость раздвижения очень незначительна — не более 0.6–1.3 см/год. Ученые из США, Англии и Германии обследовали весь хребет с помощью миниатюрных автономных приборов, которые способны регистрировать распространяющиеся от источников гидротермальные плюмы — потоки воды со специфическими гидрологическими характеристиками (в первую очередь с аномалиями температуры и мутности). Удалось надежно локализовать девять гидротермальных полей, расположенных между 82°53' и 86°59'с.ш. и 6°15'з.д. и 84°50'в.д., а также обнаружить свидетельства существования еще по крайней мере трех полей, пока точно не локализованных. Иначе говоря, одно активное поле

² Sirenko B.I., Petryashov V.V., Rachtor E., Hinz K. // Berichte zur Polarforschung. 1995. Bd.176. S.211—221; Виноградов Г.М. Гидротермы в море Лаптевых // Природа. 1997. №1. С.117—118.

в среднем приходится на 100 км протяженности хребта Гаккеля. Своеобразной его чертой оказалось то, что большинство из обнаруженных там гидротермальных полей тяготеют не к классическим тектоническим (вроде стен рифтовой долины), а к вулканическим структурам.

На самом юго-западном поле, расположенном в районе 82°53'с.ш. и 6°15'з.д. (ему дано имя Аврора), удалось кроме гидрологических данных получить пробу донных осадков, включающую обломки гидротермальных сульфидных построек. Спущенная здесь с ледокола «Polarstern» камера зафиксировала на дне процесс высачивания теплой «мерцающей» (shimmering) воды и обильную макрофауну, о которой, к сожалению, не сообщается никаких деталей. Самый же мощный гидротермальный плюм был отмечен в районе 85°39'с.ш. и 84°50'в.д.

Таким образом, гидротермальная активность в Полярном бассейне не просто есть, а весьма и весьма высока.

Nature. 2003. V.421. №6920. P.252—256 (Великобритания).

Сейсмология

«Медленное» землетрясение

Американские геофизики во главе с М.Миллером (M.Miller; Центральный университет штата Вашингтон) изучали так называемые медленные землетрясения, происходящие довольно регулярно, с интервалом 14±1 мес, в северо-западном регионе США и Канады (область Каскадных гор на Тихоокеанском побережье). Причина такой регулярности остается пока неизвестной.

Обычные землетрясения проявляются резкими движениями земной коры, участок которой зажат между соседними и подвергается сдавливанию, в результате чего внезапно образуется разрыв или сброс. Подобные события характерны для областей, где проходит граница между крупными тектоническими плитами, в том чис-

ле для зон субдукции. В области Тихоокеанского побережья Северной Америки такая обстановка вызывается попыткой плиты Хуанде-Фука пробить себе путь сквозь окраинную часть континента. Здесь примерно каждые 500 лет участок коры высвобождается из тисков, вызывая при этом крупное землетрясение. Но чем глубже расположена зона взаимодействия участков плит, тем менее вероятным становится сотрясение: температура пород растет с глубиной, а сами они приобретают большую пластичность и способность рассеивать накопленную ими энергию не рывком, а путем медленного, но постоянного соскальзывания. Ныне выясняется, что это справедливо не во всех случаях.

В 2001 г. сейсмологи во главе с Х.Драгертом (H.Drager; Геологическое управление Канады в Сидни, провинция Британская Колумбия) представили свидетельства того, что в нижней части сброса, ниже зоны сжатия плиты, случаются пульсирующие толчки. Исследователи проанализировали данные станций сети GPS и выяснили, что поверхность Земли на юго-западе Британской Колумбии и северо-западе штата Вашингтон подвергается необычной деформации. Большую часть времени эта область смещается на северо-восток со средней скоростью 8 мм/год, но в течение нескольких недель 1999 г. это движение менялось на обратное при скорости 2—4 мм/год. Математическая модель показала, что на глубине около 35 км участок коры размером 50×300 км² претерпевает соскальзывание.

О том, что в зонах субдукции случаются медленные землетрясения, известно с 1995 г., когда И.Кавасаки (I.Kawasaki; Тоямский университет) указал на одно из них, происшедшее у берегов Японии. Теперь группа Драгерта идентифицировала подобное явление и у Тихоокеанского побережья Северной Америки. В старых сейсмограммах и показаниях спутников системы GPS Миллер обнаружил свидетельства восьми медлен-

ных землетрясений, случившихся в этом регионе за последнее десятилетие. И происходили они с промежутком 14.5±1 мес.

Сотрудники Центрального университета штата Вашингтон признают, что медленные сейсмические события могут происходить внутри каждого 500-летнего отрезка времени между крупными землетрясениями. Поэтому маловероятно, чтобы любое отдельное подобное событие служило верным предшественником сейсмической катастрофы. Но в какой-то мере раскрыть характер процессов на границах плит медленные землетрясения в состоянии. *Science*. 2002. V.295. №5564. P.2244 (США).

Вулканология

Сотрясается гора Худ

Вулканическая гора Худ — высочайшая в штате Орегон на северо-западе США. Она возвышается на 3426 м над ур.м., грозно взирая на расположенный рядом крупнейший город штата — Портленд с почти 400-тысячным населением.

Геологи установили, что в эпоху плейстоцена, 1,5 млн лет назад, часть вершины, увенчанная несколькими куполами, внезапно обрушилась и мощный сель сошел по северному склону в долину р.Худ, а по ней — в р.Колумбия, на время полностью ее перегородив. За последние 15 тыс. лет этот вулкан пробуждался по меньшей мере четыре раза, причем трижды — 1800 лет назад. Около 220—170 лет назад в ходе очередного пароксизма выплеснулось большое количество лавы. Она растопила часть верхушечного ледника, и сель вторгся в реки Уайт и Санди. Великая река Колумбия снова приняла на себя его удар. Свежие следы этой катастрофы тогда наблюдали участники знаменитой экспедиции М.Льюиса и У.Кларка (M.Lewis, W.Clark), которые впервые в истории, в 1804—1805 гг., пересекли Северо-Американский континент от Атлантики до Тихого океана. В XIX в. Худ извергался еще несколько раз, но довольно слабо.

29 июня 2002 г. в половине восьмого утра жители Портленда и его окрестностей ощутили сильные сотрясения почвы и домов. По сведениям сотрудников Вулканологической обсерватории Каскадных гор, расположенной в Ванкувере, магнитуда главного толчка достигала 4,5; эпицентр находился в 4,5 км к югу от вершины горы, а очаг — на глубине 6 км. За главным толчком последовали сотни повторных. Такими событиями жители не были удивлены: рои землетрясений здесь случаются по нескольку раз в год. Последние из них произошли в январе 1999 г. и январе 2001 г. Но сотрясений такой силы, как в конце июня 2002 г., не отмечалось вот уже несколько десятилетий.

Bulletin of the Global Volcanism Network. 2002. V.27. №7. P.9 (США).

Гляциология

Величайший из айсбергов

В ноябре 2001 г. запущенный НАСА искусственный спутник Земли «EOS Terra»¹ передал снимки шельфового ледника Пайн-Айленд (Западная Антарктида), сделанные широкоугольной камерой спектрометра. Этот ледник — один из крупнейших среди выводных, т.е. впадающих в предгорную долину или море, — выделяется большой скоростью движения.

Еще в середине 2000 г. в теле Пайн-Айленда была обнаружена крупная трещина. Предполагалось, что она достигнет противоположного края лишь в 2002 г., однако из космических снимков следовало, что ее протяженность увеличивается со средней скоростью 15 м/сут, и последние 10 км ледяной перемычки трещина, изгибаясь в сторону моря, пройдет за несколько дней.

Действительно, между 4 и 12 ноября 2001 г. от берега отошел гигантский (около 42 км в длину и 17 км в ширину) столовый (плоский) айсберг². Такую массу льда

¹ См. также: Система космических наблюдений Земли // *Природа*. 2002. №5. С.30.

² Айсберг создал «пробку» // *Природа*. 2002. №12. С.77.

Пайн-Айленд обычно выносит в океан постепенно, не менее чем за семь лет, но в этом случае он сбросил ее практически одновременно.

Столь крупномасштабное событие, впервые так подробно прослеженное, дает климатологам, гляциологам и океанологам уникальную возможность судить (в сопоставлении с другими наземными и космическими данными) об эволюции всего оледенения.

Spaceflight. 2002. V.44. №1. P.11 (Великобритания).

Климатология

Сажа портит климат

Глобальное потепление связывают с возросшим содержанием в атмосфере парниковых газов, а также аэрозолей. Правда, большинство аэрозолей охлаждают атмосферу, увеличивая ее способность отражать солнечное излучение в космос. Но те, что содержат сажу, наоборот, повышают температуру Земли, поглощая солнечные лучи. Полагают, что вклад сажи в глобальное потепление уступает лишь вкладу CO₂.

Важная роль аэрозолей в региональных и глобальных проявлениях климата освещена в совместной работе группы сотрудников Института космических исследований им. Годдарда НАСА и Национального научного фонда КНР. Построенная ими математическая модель показывает, что антропогенные выбросы сажи (в основном на территориях Индии и Китая) ответственны за участившиеся в последние 20 лет засухи на северо-востоке КНР и летние наводнения в юго-восточной части страны.

Климатический эффект сажи несколько иной, чем у большинства парниковых газов: сажа сохраняется в атмосфере недолго, а ее концентрации различаются на порядки величин — от очень высокой над промышленными центрами до незначительных в удаленной сельской местности. Следовательно, и воздействие ее на климат сильно зависит от географии

района. Варьирующаяся подобным образом температура воздуха серьезно изменяет муссонную циркуляцию в летние сезоны над Азией, искажая систему осадков в Китае.

Согласно прогнозу, выработанному авторами, дальнейшее увеличение объемов «азиатской» сажи приведет к похолоданию на территории КНР, значительному потеплению в Северной Африке, понижению температур в южных штатах США — и все это наложится на общее потепление в глобальных масштабах.

Введение в научный оборот такого фактора, как региональная концентрация сажи в атмосфере, вызывает ряд новых климатологических проблем. В случае если сажа действительно столь важный элемент потепления, многие компьютерные модели, воспроизводящие динамику температуры за истекший век, окажутся сомнительными. По-видимому, влияние сажи не следовало исключать из математических построений, как это часто делалось с целью избежать эффекта городских тепловых «островов», занимающих все же незначительные площади. Следует учитывать также особенности процессов образования атмосферной сажи: она возникает вследствие неполного сгорания биомассы, угля или дизельного топлива. В отличие от CO₂ сажа вырабатывается преимущественно на территории развивающихся стран. Если считать на душу населения, то в США и КНР ее количество примерно одинаково. Не следует ли это учитывать, принимая международные обязательства по охране природной среды, — задают вопрос американские исследователи.

Science. 2002. V.297. №5590. P.2214, 2250 (США).

Климатология

Засуха в США

2002-й стал четвертым подряд засушливым годом для значительной части восточных штатов США. Начало этому периоду положено

в мае 1998 г., когда завершился последний цикл явления Эль-Ниньо — Южная осцилляция. В это время атмосферные осадки, превышающие среднюю многолетнюю норму, отмечались только в штате Миссисипи и примыкающих районах юга США, в западной части штата Огайо и в центре области, омываемой Великими озерами (эти районы вообще отличаются более влажным климатом). А вот Атлантическое побережье, особенно его юго-восточная часть, сильно пострадало от засухи. Предел ее распространения довольно точно совпал с административными границами штатов Северная Каролина и Теннесси. Ужесточение засухи продолжалось и в начале второго полугодия 2002 г.

Климатологи и метеорологи США, в том числе сотрудники Института по изучению пустынь в г.Рино (штат Невада) построили подробную карту распределения осадков по всей территории страны (кроме Аляски и Гавайских островов) за указанный четырехлетний период. Ее можно использовать как для краткосрочных, так и для долгосрочных гидрологических прогнозов.

Earth System Monitor. 2002. V.12. №4. P.16 (США).

Метеорология

Нетипичный муссонный сезон

В 2002 г. Индию постигла первая за истекшие 15 лет серьезнейшая засуха. Ее социально-экономические последствия очевидны и будут сказываться еще по крайней мере в 2003 г. Обычно за год на Индостанском субконтиненте выпадает в среднем около 88 см осадков, причем более 80% приходится на муссонный сезон — с июля по сентябрь¹. Неожиданная засуха — важный урок для индийских климатологов: в мае 2002 г. они опубликовали прогноз, согласно которому предстоявший муссон должен быть средней ин-

¹ См. также: Муссоны: вчера, сегодня, завтра... // Природа. 2003. №3. С.80.

тенсивности, однако дожди фактически отсутствовали.

Надо сказать, что прогноз летних муссонов составляет одну из самых сложных климатологических задач. Индийские метеорологи в 1980-х годах построили математическую статистическую модель, которая учитывает 16 погодных явлений, воздействующих на муссоны (включая даже такие параметры, как толщина зимнего снежного покрова в горах Евразии, атмосферное давление весной в далекой Аргентине и т.п.). Однако выработанный ими прогноз природа полностью опровергла. Хотя первые муссонные дожди и пролились в начале июня, они вскоре прекратились, и к началу августа сумма осадков не превысила и 30% среднегодовой нормы. Особенно тяжелый удар был нанесен по зерновой житнице страны — западным штатам, где даже десятипроцентный недостаток влаги становится угрозой голода.

Нетипичный муссонный сезон 2002 г. вскрыл недостатки модели. Это был седьмой подряд год, в который разрыв между предсказанным и реальным количеством осадков в Индии превышает допустимый предел ошибки (впрочем, по принятой в этой стране методике прогноз считают успешным, если между ним и реальностью расхождение не более 10% среднегодового многолетнего показателя).

Точно предсказывать интенсивность муссонов не в состоянии, по мнению М.Челлия (M.Chelliah; Центр климатических прогнозов США в Кемп-Спрингсе), и американские специалисты; для этого необходима заблаговременная информация по очень большой территории. Индийский прогноз в основном опирался лишь на данные, собранные в пределах суши, а модель должна использовать сведения об общей циркуляции атмосферы и ее взаимодействии с поверхностью океана.

Большие надежды специалисты возлагают на результат эксперимента «Monsoon Trough Boundary Layer» («Межграничные исследования муссонов»), который продлен с 1999 г. проектом «Bay of Bengal Monsoon Experiment» («Изучение муссонов Бенгальского залива»), а также на проект «Arabian Sea Monsoon» («Муссон Аравийского моря»), который стал проводиться с 2002 г. Анализ и сопоставление данных должны привести, наконец, к прояснению характера этого явления, считает руководитель Центра атмосферных и океанологических исследований Индии в Бенгалуру Дж.Шринивасан (J.Srinivasan). Кроме того, было отмечено, что научным кругам предоставляется недостаточный доступ к информации со спутников, запускаемых Индией по иным программам.

Journal of Climate, December, 2002; Science, 2002, V.297, №5585, P.1265 (США).

Археология

Когда возникло искусство?

Специалисты считают, что *Homo sapiens* как вид сложился в Африке около 130 тыс. лет назад; именно к этому периоду относятся самые древние костные останки человека, физический тип которого сходен с современным¹. Однако свидетельства развитых форм охоты и рыбной ловли, создания сложных орудий труда и хотя бы какого-то подобия искусства с присущей ему символичностью не более 40 тыс. лет (именно в это время в пещерах на территории Франции и Испании появились первые наскальные рисунки, поражающие своим совершенством).

Группа археологов во главе с К.Хеншилвудом (C.Henshilwood; Южно-Африканский университет

¹ Подробнее см.: *Бутовская М.Я.* Эволюция человека и его социальной структуры // Природа. 1998. №9. С.87—99.

в Кейптауне) при раскопках в пещере Бломбос (ЮАР), где имеются следы существования человека в период 250—40 тыс. лет назад, обнаружила множество тщательно обработанных костяных орудий, которые, по мнению некоторых специалистов, мог изготовить только человек, способный представить сложную форму будущего изделия. Залегали эти предметы в слоях, возраст которых превышает 70 тыс. лет.

А недавно там были найдены два кусочка сцементированной охры, которую древние люди часто использовали в похоронных ритуалах. Один из камешков (его длина 53 мм) покрыт «строчкой» глубоко процарапанных косых крестиков, часть которых пересечена горизонтальной черточкой. На другом камешке (длиной 76 мм) — целый ряд таких же значков, перечеркнутых тремя горизонтальными линиями. Возраст находки по меньшей мере 77 тыс. лет. Сомнений в том, что все эти «гравюры» сделаны рукой человека, у специалистов нет. Американский антрополог С.Амброуз (S.Ambrose) считает, что сознательно нанесенный геометрический узор — уже искусство. Между тем французский эксперт по пещерному искусству Ж.Клотт (J.Clottes) более осторожен: это могло быть просто машинное нанесение черточек.

По мнению другого американского антрополога, М.Конки (M.Conkey), столь раннее проявление способности к абстрактному мышлению могло быть достижением лишь отдельной личности и исчезло вместе с ней (по всей Африке известно около 30 стоянок человека середины каменного века, но ни на одной из них ничего подобного не встречалось). Автор открытия парирует: все эти стоянки изучались более 50 лет назад, когда находки датировались недостаточно верно.

Science, 2002, V.295, №5553, P.247 (США); www.sciencemag.org/

География в биографии П.А.Кропоткина

М.Ю.Зубрева
 Журнал «Природа»
 Москва

Огерое этой книги, пожалуй, слышан каждый. Его именем были названы улица, переулок и станция метро в Москве, город в Краснодарском крае, поселок, потухший вулкан в Восточной Сибири, горный хребет и ледники. Оно частенько «эксплуатируется» составителями кроссвордов и прочими затайниками. Как-то ведущая телепрограммы «Слабое звено» тщетно пыталась вырвать эту фамилию из уст испуганного игрока: назовите, мол, автора термина «вечная мерзлота». Ответа не последовало — не все еще мы знаем о Петре Алексеевиче Кропоткине (1842—1921).

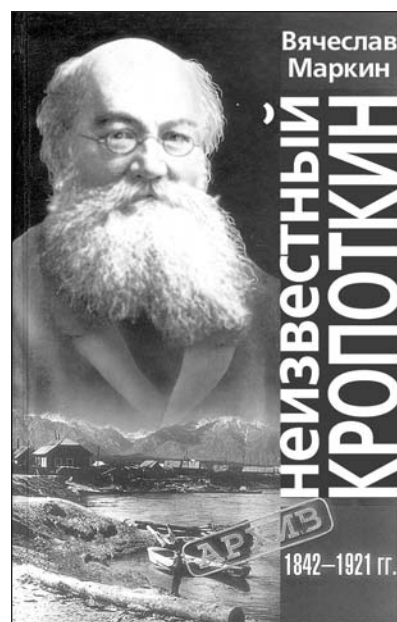
Эта личность столь многогранна, а наследие его так велико, что каждое новое издание — неизбежная попытка объять необъятное. Ученый-энциклопедист, философ, путешественник-первооткрыватель, революционер-анархист (проповедник общества без принуждения и насилия «на основе взаимопомощи как фактора эволюции»), талантливый публицист, популяризатор науки (и литературы!) — вот далеко не полный перечень характеристик Кропоткина. Библиография его собственных работ содержит 2000 наименований не менее чем на

20 языках мира, да и кропоткиниана уже достаточно обширна, хотя не все архивные материалы на сегодня изучены.

Это уже третья книга о Кропоткине В.А.Маркина — географа, историка, журналиста. Несколько десятков лет он занимается исследованиями жизни Кропоткина, много работал в архивах, побывал в тех местах, где в 60-х годах XIX в. прошли маршруты его экспедиций. Итог — хорошо иллюстрированная, легко читаемая биография, дополненная фрагментами сочинений и писем Кропоткина.

Обычно его научная жизнь меньше известна читающей публике, чем общественно-политическая. Поэтому, не ставя своей задачей всесторонний анализ книги (здесь, пожалуй, нужен энциклопедист), совершив экскурсию по тем ее местам, которые в какой-то мере имеют отношение к географии. Эта наука как школьный предмет присутствует в жизни каждого человека, а для некоторых даже становится профессией.

Книга «Неизвестный Кропоткин» устроена традиционно и начинается с детства героя, которое протекало в «Сен-Жерменском» предместье, что между Арбатом и Пречистенкой, где издавна селились русские аристократы — потомки знатных се-



В.А.Маркин. НЕИЗВЕСТНЫЙ КРОПОТКИН.

М.: Олма-Пресс, 2002. 446 с. (Архив).

мейств, утратившие величие, но сохранившие титулы. Рюрикович в 30-м колене, князь Петр Алексеевич родился в доме, на котором теперь мемориальная доска в его честь, в Штатном, ныне Кропоткинском пер. (кстати сказать, слышала, что здесь когда-то жил и автор книги — отсюда, верно, его почти родственный интерес к своему герою). Детство Кропоткина было безоблачным только до трех с половиной лет, когда умерла мама — Екатерина Николаевна. Всего детей было четверо, а самым близким был брат Александр, полтора годами старше (тоже впоследствии революционер) — именно ему написано большинство писем, приводимых в книге. Летом жили в имении Никольском Мещовского уезда Калужской губернии, одним из трех, принадлежавших отцу — отставному генерал-майору Алексею Петровичу. Переезд туда на лето — настоящее путешествие для маленьких Кропоткиных. Кстати, в г. Мещовске, на ярмарке, уже подростками Петр и Александр проводили первые свои статистические изыскания: подсчитывали число торговцев и анализировали их товар.

Но самое удивительное приключение с «географическим уклоном» случилось раньше, в конце 1850 г. Праздновали 25-летие царствования Николая I. На грандиозном балу на Большой Дмитровке в Благородном собрании (ныне Дом Союзов) семилетний Кропоткин вместо другого, заболевшего мальчика оказался одним из детей, представлявших 60 верно-подданных губерний России — Астраханскую. В богатом восточном костюме, украшенном драгоценными камнями, с гербом на жезле, он был столь забавен, что император захотел поближе его рассмотреть. «Астраханца» подняли на монарший помост, добрая царица Александра Федоровна усадила его рядом, Петя разморился и заснул, положив голову на ее колени.

Умиленный Николай I распорядился, чтобы князь Кропоткин учился в Пажеском корпусе. Милость таила блестящую придворную, военную или дипломатическую карьеру. Кто бы знал, что именно среди приближенных к царю пажей вырастет враг всякой государственности.

В корпус принимали с 15 лет, и первые знания по школьной программе, как было принято в дворянских семьях, были получены от домашних учителей, из книг и журналов, а читали дети запоем. Уже тогда возник у Кропоткина жгучий интерес к путешествиям, географии и геологии. В пажемском корпусе, где преподавали некоторые университетские профессора, ему «невыразимое удовольствие» доставляли топографические съемки, там же появилось желание уехать после окончания в Сибирь вместо обычных для лучшего ученика старшего класса «гвардии, придворных балов и парадов» или университета, о котором он мечтал, но для которого не было «даже небольших денег». Впоследствии в «Записках революционера» Кропоткин пишет об этом странном желании так: «И все более и более я останавливался на мысли о Сибири. Амурский край тогда только что был присоединен к России. Я читал об этом Миссисипи Дальнего Востока, о горах, прерываемых рекой, о субтропической растительности по Усури; восхищался рисунками, приложенными к «Усурийскому путешествию» Маака, и мысленно переносился дальше, к тропическому поясу, так чудно описанному Гумбольдтом, и к великим обобщениям Риттера, которыми я увлекался».

В 1862 г. 19-летний Кропоткин отправляется через Иркутск в Читу, получив воинское звание есаула, а должность — чиновника по особым поручениям при начальнике штаба казачьего войска и губернаторе Забайкальской обл., вольнодумце и «восхитительной личности»

Б.К.Кукеле. Первую работу в новом качестве — описание Забайкальской выставки промышленных и сельскохозяйственных товаров — Кропоткин отправил в Петербург, в Императорское Русское географическое общество (ИРГО), в дальнейшем он будет тесно связан с ним.

Свое отношение к месту новой жизни он описывает в письме Александру: «Что, брат, сказать про то, каковой показалось мне Сибирь? Обманула! Ведь с детства учат нас про сибирскую тайгу, про тундры, про степи, и мы при слове «степи» рисуем себе Сахару с ее песками. А тут выходит совсем наоборот. До Тюмени еще и несколько за Тюменью тянутся безотрадные болота: едешь по гати, а кругом густая, высокая трава, но не суйся в нее — сгинешь, так и втянет в тину. По болоту растет мелкий березняк, пересохший большей частью. А за Тюменью начинается благодать, да какая! — чернозем, какого я никогда еще не видел, тучность почвы такая, что трава растет в поле в аршин вышины, да густая такая, что муравью кажись не пролезть, камыши ли в болоте, — так-таки и видна их сила, рослость. А хлеба, овса такие, какие едва ли в Тамбове родятся. Страна богатая...»

С весны 1863 г. Кропоткин начинает путешествовать по Восточной Сибири и Дальнему Востоку. Очень кстати оказалась представившаяся возможность участвовать в сплаве по Амуру, куда доставляли продовольствие крестьянам-казакам, страдавшим от недорода.

Однако баржи погибают, а Кропоткин на время возвращается в Петербург с докладом о печальном событии. Желание исследовать сибирскую природу становится все более целенаправленным, и в Главной физической обсерватории ему удается раздобыть приборы для метеорологических наблюдений и топографической съемки — термометры, барометры, бусоль; все это он привез в Ир-

кутск, куда был назначен чиновником особых поручений при генерал-губернаторе Восточной Сибири. Вскоре Сибирский отдел ИРГО избрал его действительным членом.

Готовясь к следующему путешествию, он постоянно учится: изучает гербарий, собранный на Амуре Р.Мааком за 20 лет до него, коллекции горных пород Иркутского музея, отчеты Сибирской академической экспедиции, встречается с петербургским геологом Ф.Б.Шмидтом, немецким этнографом А.Бастианом, совершавшим кругосветное путешествие, и с американским геологом итальянского происхождения Р.Пумпелли. По его совету в 1862 г. Кропоткин послал в итальянский географический журнал заметку о Байкальском землетрясении, затем статью о наблюдении полярных сияний на Байкале в журнал «Nature». Таким образом, еще в 60-х годах XIX в. Европа узнала о Кропоткине-географе.

Первая серьезная экспедиция под его руководством отправляется в Маньчжурию. Ее цель секретная: разведать кратчайший путь между Забайкальем и Благовещенском через китайскую территорию; «срезать» излучину Амура, из-за которой расстояние удлиняется не менее чем на 600 верст, найти удобную дорогу для перегона скота через Маньчжурию, что позволит сэкономить казне около 35 тыс. серебром в год.

Из казаков-охотников был составлен торговый караван, а предводителем его назначен есаул — князь Кропоткин, отправляющийся в путь под именем купца Петра Алексеева. В этом путешествии ему удалось пересечь Большой Хинган и открыть потухшие вулканы в горах Ильхури-Алинь. На водоразделе между Иркутом и Окой, образованном куполовидным горным массивом Нуху-Дабан, будущий создатель ледниковой теории впервые встретил до блеска отполированные скалы,

изрезанные параллельными царапинами. И возникла мысль: не следы ли это исчезнувших несколько тысячелетий назад глетчеров?

В том же 1864 г. он совершил еще одно путешествие по Амуре — до Николаевска и плавание по Сунгари и Гирину в должности историографа Сунгарийской экспедиции.

Впрочем, дадим слово самому Кропоткину, который так описывает свои исследования 60-х годов XIX в.: «Постепенно я все более стал отдаваться научным исследованиям. В 1865 г. я исследовал Западные Саяны. Здесь у меня прибавилось еще несколько новых данных для построения схемы орографии Сибири, и я также нашел другую важную вулканическую область на границе Китая, к югу от Окинского караула. Наконец, в 1866 г. я предпринял далекое путешествие, чтобы открыть прямой путь из Забайкалья на Витимские и Олекминские золотые прииски...

Три месяца мы странствовали по почти совершенно безлюдной горной стране и по болотистому плоскогорью, пока, наконец, добрались до цели наших странствований, до Читы. Найденным нами путем теперь гоняют скот с юга на прииски. Что касается до меня, то это путешествие значительно помогло мне впоследствии найти ключ к общему строению сибирских гор и плоскогорий...»

Потом еще одно плавание по Амуре и Уссури, изучение геологического строения берегов Лены, переход через Патомское нагорье — всего и не перечислишь.

Итоги Олекминско-Витимской экспедиции впечатляют и сегодня. Пересечена обширная горная страна, открыты и названы нагорье и хребты. Водораздел между двумя океанами — Тихим и Северным Ледовитым — оказался совсем не таким, как его представляли до Кропоткина. Построенные им карты не похожи на идеальные изображе-

ния А.Гумбольдта с их геометрически правильной клеткой из широтно и меридионально направленных хребтов. Кропоткин прошел 3 тыс. верст по нагорью Восточной Сибири, а представил себе строение грандиозной горной страны, как будто увидел ее с самолета или из космоса, его схема расположения гор в дальнейшем оказалась в основных чертах верной, что установили многочисленные экспедиции, работавшие в этих труднодоступных местах в середине XX в.

Встреченные Кропоткиным на Патомском и Витимском плоскогорьях отполированные и изборозженные трещинами скалы и принесенные издалека блуждающие валуны он считал «самыми существенными доказательствами... распространения ледникового периода на Сибирь», а второстепенными — обилие ныне высыхающих озер среди горных хребтов и на плоских возвышенностях. «Наследник» того времени и лёсс, ледниковую гипотезу происхождения которого он отстаивал.

Весной 1866 г. Кропоткин покидает Сибирь. Сначала едет в имение отца, что в Калужской губернии, где изучает геологию Мещовского уезда. Осенью поступает на физико-математический факультет Петербургского университета. Снова служит — в Центральном статистическом комитете под руководством П.П.Семенова (будущего Тянь-Шанского), а через два года Кропоткин становится секретарем отделения физической географии ИРГО. Работая над проблемой освоения ледовитых морей, Кропоткин мечтал об экспедиции к северо-востоку от Новой Земли, полагая, что здесь находится другая, никем еще не виденная суша (Земля Франца-Иосифа), но денег на плавание он не смог раздобыть. Архипелаг был открыт в 1870 г. австро-венгерской экспедицией. Последнее путешествие Кропоткина от ИРГО в Финляндию и Швецию — на «родину предков», где он исследует следы оледенения

и получает новые доказательства его существования. Но работа секретарем его не слишком устраивает: «Оставляя в стороне частные случаи, я не гоюсь для полуправительственного ученого общества. Тут все — экспедиции, денежные средства и т. п. — держится на «такте». У меня его мало, а больше я не хотел бы приобретать».

К тому же в 1871 г. Кропоткин вступает в кружок «чайковцев» и начинается его активная революционная деятельность: «...мне хотелось разработать теорию о ледниковом периоде, которая могла бы дать ключ для понимания современного распространения флоры и фауны и открыть новые горизонты для геологии и физической географии... Но какое право имел я на все эти высшие радости, когда вокруг меня — гнетущая нищета и мучительная борьба за черствый кусок хлеба?» Через три года он был арестован, заключен в Трубецкой бастион Петропавловской крепости и бежал из госпиталя с помощью друзей за границу, через Финляндию, Швецию и Норвегию в Англию. Все эти поздние перипетии, равно как и его революционная деятельность, в рамки нашего повествования не входят. Свою же научно-публицистическую работу за границей в письме от 15 августа 1909 г. он описывает так: «...в Англии меня знают больше как ученого, чем как политического писателя. Причина — та, что я 20 лет обозревал в английской «Nature» безусловно все естественнонаучные работы в России, и часто Швеции и Богемии, и в продолжении 19 лет вел в «Nineteenth Century» [раздел] «Recent Science» после

Huxley, и по его плану — критические обзоры главных научных вопросов или даже отделов науки. Бросил в 1901 году, как и Huxley, после удара сердца, и с тех пор нет такого обзора ни в одном английском или американском журнале...»

В этом отрывке не упомянута работа с Э.Реклю над «Всеобщей географией» в Швейцарии и Франции в 1880 г., работы над статьями для Британской энциклопедии, осмысление вопросов биосоциологии и многое другое.

В Россию Кропоткин возвращается в 1917 г. после Февральской революции. Примечательно, что журнал «Природа» в те тяжелые времена отметил 75-летний юбилей Кропоткина, правда, с годовым опозданием [1]. Вклад ученого в земледелие оценил выдающийся геолог и географ В.А.Обручев, характеризуя Кропоткина как «энергичного исследователя, вдумчивого наблюдателя и выдающегося ученого, склонного к тщательному анализу и к широким синтетическим обобщениям, обладающего талантом излагать свои мысли прекрасным языком». Автор статьи в «Природе» не преминул, правда, заметить, что русская наука, к сожалению, лишилась его «преждевременно» из-за его политической деятельности. После Октябрьской революции Кропоткин переезжает из Петрограда в г.Дмитров, где снова обращается к географии. Почти до конца жизни он, например, проводит ежедневно метеорологические наблюдения, работает в краеведческом музее, читает лекции. Об этой странице жизни ученого в журнале «Природа» можно прочи-

тать более подробно [2, 3], чем в книге, у которой, впрочем, другая задача.

Издательство «Олма-Пресс», выпустившее «Неизвестного Кропоткина», можно лишь поблагодарить за интерес к истории и географии, тем более что оно, по-видимому, не специализируется на научно-популярной литературе. Но малюсенькую ложку дегтя придется добавить. В книге есть повторы, связанные с использованием цитат (больших и маленьких) и собственного комментария событий. Часто одно не отделить от другого — где-то исчезает курсив, где-то кавычки. Замечаешь иногда и ошибки: Благородное собрание почему-то находится на Малой Дмитровке, а не на Большой, мама героя книги скончалась, когда сыну было 3.5 года, а нарисовала его в четыре, перепутано второе имя Норденшельда (Альфред вместо Адольф).

Однако всякого рода описки, относящиеся к Кропоткину, я обнаружила даже в справочной литературе. Так в 32-м томе Энциклопедического словаря Брокгауза и Ефрона (СПб., 1895), где приведены сведения об Александре и Петре Кропоткиных, оба они — Александровичи, а не Алексеевичи, а переписка братьев, судя по БСЭ (М., 1973. Т.13), издана в 1832—1833 гг.

Видимо, мы сильно идеализируем старые печатные издания. Подготовка рукописей и ошибки — наше общее «слабое звено». Кстати сказать, в рецензируемой книге не сказано, что Кропоткин — автор термина «вечная мерзлота». Придется обратиться к его собственным работам. ■

Литература

1. Обручев В.А. П.А.Кропоткин (К 75-летию его жизни) // Природа. 1918, апрель—июнь. С.309—322.
2. Маркин В.А. Кропоткин — метеоролог // Природа. 1979. №4. С.66—69.
3. Хохлов Р.Ф. П.А.Кропоткин в Дмитрове // Природа. 1979. №4. С.74—79.

Физика

А.М.Цвелик. КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ В ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ. М.: Физматлит, 2002. 250 с.

В послевоенные годы квантовая теория поля стремительно развивается, в том числе и в виде приложений к задачам по физике конденсированного состояния. Книга стала своего рода самостоятельным введением в эту дисциплину и демонстрирует ее использование на практике.

В первой части описаны основные методы квантовой теории поля, включая интегралы по траекториям, фейнмановские диаграммы и перенормировку, а также их применение к электродинамике металлов, релятивистским фермионам и эффекту Ааронова—Бома. Вторая часть книги посвящена непertурбативным методам и описанию сильно флуктуирующих спиновых систем, конформной симметрии, цепочкам Кондо и ряду других задач. Благодаря универсальности используемых понятий, эта книга полезна как ученым, специализирующимся в физике твердого тела и статистической механике, так и всем, интересующимся современными методами квантовой теории поля.

Физика

Й.Имри. МЕЗОСКОПИЧЕСКАЯ ФИЗИКА. М.: Физматлит, 2002. 304 с.

Книга известного израильского физика-теоретика Йозефа Имри посвящена относительно новой (существующей около 15 лет) области физики, которая изучает поведение мезоскопических систем (с размерами от десятков до тысяч ангстрем), где существенную роль играют квантовые эффек-

ты. Сейчас, в связи с общей тенденцией к миниатюризации в электронике, эта область науки бурно развивается.

Работа написана очень доступно и предназначена для ученых (как теоретиков, так и экспериментаторов), специализирующихся в физике твердого тела, а также разрабатывающих химические технологии по изготовлению материалов для микроэлектроники.

Биология

И.Я.Павлинов, С.В.Крусков, А.А.Варшавский, А.В.Борисенко. НАЗЕМНЫЕ ЗВЕРИ РОССИИ: Справочник-определитель. Вып. 2. М.: Т-во научных изданий КМК, 2002. 298 с. (Из сер. «Определители по флоре и фауне России».)

Фауна нашей планеты очень разнообразна. Каждый вид чем-то уникален — особенностями питания или поведения, окраской или размножением, приспособлениями к тем или иным условиям обитания. Ориентироваться в мире животных помогают справочники-определители.

Это издание посвящено наземным млекопитающим фауны России, относящимся к отрядам насекомоядных, рукокрылых, хищных, зайцеобразных, грызунов, парнокопытных и непарнокопытных. Приведена их полная научная классификация. Даны ключи по определению таксономической принадлежности для всех отрядов, семейств, родов и видов. Краткие характеристики всех таксонов включают: комментарии по систематике, синонимии, основные признаки и отличительные черты, распространение и биотопическую приуроченность, особенности биологии. Определительные ключи и характеристики таксонов сопровождаются изображениями самих животных, их черепов и некоторых диагностичес-

ких признаков, а также карто-схемами ареалов.

Имеется словарь основных анатомических терминов, список рекомендуемой дополнительной литературы, указатели русских и латинских названий таксонов.

Ботаника

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ ОТ БОЛЕЗНЕЙ В ТЕПЛИЦАХ: Справочник. Под ред. А.К.Ахатова. М.: Т-во научных изданий КМК, 2002. 464 с.

Справочник посвящен тепличным и оранжерейным растениям, точнее защите их от различных заболеваний (известно более 200 видов возбудителей у овощных и цветочных культур). В нем отражены результаты исследований, выполненных преимущественно российскими специалистами.

Необходимость этого издания очевидна: подобные справочники отсутствуют в отечественной литературе. В книге систематизированы и описаны симптомы тех или иных заболеваний, что позволяет облегчить диагностирование. Отдельно рассматриваются биологические, химические и агротехнические средства защиты. Текст максимально насыщен иллюстрациями.

Авторский коллектив представлен фитопатологами и другими специалистами по защите растений, работающими в этой области многие годы.

Энтомология

О.Л.Крыжановский. СОСТАВ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭНТОМОФАУН ЗЕМНОГО ШАРА. М.: Т-во научных изданий КМК, 2002. 237 с.

Олег Леонидович Крыжановский (1918—1997) — известный отечественный колеоптеролог и зоогеограф. Книга вышла из печати уже после того,

как автора не стало. Это итог его многолетней деятельности как систематика и фауниста в области изучения отряда жуков и как энтомолога в самом широком смысле этого слова. Анализ особенностей распространения жуков стал возможным благодаря огромному опыту работы Крыжановского с обширными коллекциями Зоологического института РАН и его полевым сборам на территории России и за ее пределами. Для зоогеографических исследований автор привлек не только данные по жукам, но и по другим группам насекомых — саранчовым, муравьям, некоторым семействам бабочек и клопам.

В работе рассматриваются основные факторы, обуславливающие распространение насекомых, даны важнейшие типы их ареалов и разобраны принципы зоогеографического районирования суши. Автор подчеркивает, что географическое распространение насекомых подчиняется тем же законам, что и у других наземных организмов, и особенно у цветковых растений.

Будучи представителем школы классической фаунистической зоогеографии, Крыжановский дает в целом традиционное биогеографическое деление суши, если не считать ряда нововведений в отношении Палеарктики — например, в проведении границ Средиземноморской подобласти. Эти нововведения в значительной мере спорны, но полезны, так как позволяют уточнять критерии, положенные в основу зоогеографического деления.

Ихтиология

А.Ф.Кириллов. ПРОМЫСЛОВЫЕ РЫБЫ ЯКУТИИ. М.: Научный мир, 2002. 194 с.

Промысел рыбы в Якутии издавна считался основным видом хозяйственной деятельно-

сти и особенно активно развивался в низовьях крупных рек (Лены, Индигирки, Оленька, Колымы) и больших озерах. В начале прошлого века в местных водоемах добывалось 11 тыс. т рыбы (горбуши, кеты, осетра, омуля, сига, тайменя, муксуна, корюшки). Она обеспечивала пропитание населения, использовалась в качестве корма для ездовых собак и приманки для пушных зверей, шла на продажу. В 1929 г. в Якутске была открыта первая научная рыбохозяйственная станция.

В монографии дается характеристика основных водоемов Якутии. Рассматривается современное состояние популяций 39 промысловых видов и рыбных ресурсов в целом. Приводится статистика морских млекопитающих и причины сокращения их численности. Обсуждаются вопросы рационального ведения хозяйства.

Океанология

ЖИТЕЛИ МОРЯ. Отв. ред. А.Ю.Журавлев. М.: Аванта+, 2002. 184 с. (Из сер. «Самые красивые и знаменитые».)

В книге говорится о самых разных обитателях морей и океанов — от микроскопических существ, копошащихся между песчинками, до огромных китов и гигантских водорослей. О тех, кто всего раз в жизни выходит в море, и о тех, кто никогда не поднимается из черной бездны.

Ведущие ученые-биологи, среди которых есть авторы «Природы», рассказывают много интересного о повадках и особенностях организмов, которых можно встретить во время подводных погружений. Профессиональные ныряльщики проиллюстрировали их рассказы.

Новая серия стала приложением к популярной «Энциклопедии», расширяя и дополняя

ее тематику и изобразительный ряд. Это не только прекрасный подарок и увлекательное чтение, но и продолжение научно-популярных, познавательных и образовательных традиций.

Гидрогеология

В.М.Швец, А.Б.Лисенков, Е.В.Попов. РОДНИКИ МОСКВЫ. М.: Научный мир, 2002. 160 с.

Все известные в Москве родники — это очаги разгрузки грунтовых вод. Целенаправленно их изучать начали еще во второй половине XIX в. и продолжают по сей день.

В книге приводятся результаты исследования 64 родников Москвы, выполненные коллективом преподавателей и научных сотрудников на кафедре гидрогеологии Московского государственного геологоразведочного университета в период 1997—2001 гг. по заказу Москомприроды и Всероссийского научно-исследовательского института инженерной геологии. Рассмотрены условия формирования грунтовых вод, ландшафтные участки их выхода на поверхность земли. Даны классификации родников по различным показателям и признакам, их геоэкологическая оценка. Большое внимание уделено химическому составу воды и его изменению в различное время года.

Большой интерес к родникам вполне закономерен, так как многие из них, как правило, располагаются на территории рекреационных зон Москвы (Филевского и Битцевского парков, Нескучного сада, Тропарева, музея-заповедника «Коломенское», Воробьевых гор, Крылатских холмов и др.). Некоторым был присвоен статус геологических памятников природы (родникам «Сергия Радонежского» в Теплом Стане, «Царевна-Лебедь» в Покровском-Стрешневе).

Правительство Москвы в постановлении от 30 мая 2000 г. отметило важное экологическое, историко-культурное, эстетическое и рекреационное значение, высокую ландшафтную ценность родников и поставило вопрос о придании им статуса памятников природы.

История науки

МИХАИЛ ЛЬВОВИЧ ЛЕВИН: Жизнь, воспоминания, творчество. Сост. Н.М.Леонтович, М.А.Миллер. Изд. 2-е, доп. Н. Новгород: ИПФ РАН. 592 с.

Книга знакомит читателя с физиком и литератором Михаилом Львовичем Левиным (1921—1992).

Он прожил жизнь, в чем-то созвучную доставшейся ему эпохе. Родился в семье научных работников, получил хорошее образование, стал ученым; потом был арест и огульные обвинения. После освобождения по амнистии (1945) ему разрешили работать в Горьковском университете, где он сыграл важную роль в становлении первого в стране радиофизического факультета. Книга издана по инициативе его нижегородских друзей и учеников

В книге шесть разделов. В первом приведено краткое жизнеописание, снабженное некоторыми документами, относящимися к наиболее драматическим событиям в судьбе ученого. Во втором собраны воспоминания друзей и близких. В третьем дан обзор научных достижений Левина. В четвертом разделе опубликованы избранные литературные произведения Михаила Львовича (стихи, проза, публицистика); здесь, в частности, помещены его очерки о М.А.Леонтовиче, Б.Л.Пастернаке, А.Д.Сахарове, С.Б.Веселовском, Вс.Иванове... В пятом приведены избранные места из писем Левина, рассказывающие о пережитом.

Назначение книги очевидно: она дает возможность узнать, какие люди составляют интеллектуальное богатство страны.

История науки

АСТРОНОМИЯ ДРЕВНИХ ОБЩЕСТВ: Сб. статей. Отв. ред. Т.М.Потемкина и В.Н.Обридко. М.: Наука, 2002. 332 с.

В мае 2000 г. в Государственном астрономическом институте им.П.К.Штернберга (Москва) прошла конференция под названием «Астрономия древних цивилизаций», проведенная Европейским обществом по астрономии и культуре в рамках Объединенного Европейского и Национального астрономического съезда.

Названия сборника и конференции несколько отличаются. Необходимость заменить термин «цивилизация» на «общество» вызвана тем, что представленные доклады в тематическом, хронологическом и территориальном отношении вышли за рамки первоначально объявленной тематики конференции, укладывающейся в понятие «цивилизация».

В книге представлены научные результаты астрономов, историков, археологов, этнографов, филологов, геофизиков, палеоклиматологов. Всех их объединяет археоастрономия — новая область науки, формирующаяся на стыке гуманитарных и естественных знаний.

На обложке книги изображена известная каменная скульптура эпохи энеолита из Притоболья.

История науки

М.В.Поспелова-Штрот. ПАМЯТНЫЕ ВСТРЕЧИ МОЕЙ ЖИЗНИ. М.: Т-во научных изданий КМК, 2002. 140 с.

Автор книги — доктор биологических наук, профессор

Мария Владимировна Поспелова-Штрот (1902—1991), известный зоолог и паразитолог. В Институте паразитологии и тропической медицины она возглавляла лабораторию в отделе медицинской энтомологии. Ее исследования по биологии и систематике клещей рода *Haemaphysalis* актуальны и в наше время. Ею собран огромный материал по фауне, морфологии, полевой и экспериментальной экологии аргасид, переработана систематика семейства *Argasidae*.

Под ее руководством и при непосредственном участии было проведено 36 комплексных научных экспедиций в Среднюю Азию, Казахстан, Закавказье и среднюю полосу России. Со многими известными учеными-биологами Мария Владимировна была знакома лично.

Книга ее воспоминаний охватывает период с 20-х по 50-е годы. Биографические очерки посвящены зоологам Е.Н.Павловскому, В.Н.Беклемишеву, П.Г.Сергееву, В.П.Поспелову, Л.М.Исаеву, Б.И.Померанцеву, Ж.К.Штроту, ботанику Л.Н.Тюлиной и многим другим. Издание богато проиллюстрировано.

История науки

ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ МЕЩЕРЯКОВ: Воспоминания. Научные статьи. Сост.: Л.Е.Сетунская, В.П.Чичагов; Отв.ред. Д.А.Тимофеев. М.: Медиа-Пресс, 2002. 232 с.

Эта книга — сборник воспоминаний и научных статей, посвященных памяти выдающегося российского ученого-геоморфолога, доктора географических наук, профессора Юрия Александровича Мещерякова (1921—1970). Он занимался научными исследованиями в различных отраслях наук о Земле: геоморфологии, морфотектонике, геодинамике, геофизике, геодезии и картографии. Был

одним из основоположников (вместе с академиком И.П.Герасимовым) морфоструктурного анализа рельефа, теории и методов изучения движений земной коры.

Вся творческая жизнь Мещерякова была связана с Институтом географии РАН: окончил аспирантуру, блестяще защитил докторскую диссертацию, прошел все должностные ступени от младшего научного сотрудника до заведующего отделом геоморфологии. Юрий Александрович был одним из организаторов Геоморфологической комиссии Академии наук и журнала «Геоморфология», которые успешно действуют и поныне.

Книга состоит из двух частей. В первую вошли очерк о научной деятельности Мещерякова и воспоминания его коллег, соратников, учеников.

Вторая часть включает научные статьи, в которых развиваются идеи Мещерякова и рассматриваются проблемы, входившие в круг его научных интересов.

История науки

В.П.Борисов. ВЛАДИМИР КОЗЬМИЧ ЗВОРЫКИН. М.: Наука, 2002. 147 с. (Из сер. «Научно-биографическая литература».)

Владимир Козьмич Зворыкин (1889—1982) — выдающийся ученый и изобретатель, автор работ, ставших основой для развития современного телевидения.

Это человек непростой судьбы. Родившийся в семье муромского купца, он окончил Петербургский технологический институт, проходил стажировку у известного физика По-

ля Ланжевена и более полувека работал в исследовательских лабораториях США. Увлеченный электронным телевидением еще в годы учебы, Зворыкин проявил в дальнейшем удивительную настойчивость в реализации своих идей. Ему принадлежат также пионерские работы в области электронных микроскопов, фотоэлектронных умножителей, электронно-оптических преобразователей и медицинских приборов. Прожив 60 лет в эмиграции, Зворыкин сумел сохранить связи с Россией.

В нашей стране биографические работы об изобретателях-эмигрантах долгое время не публиковались. Книга В.П.Борисова написана на основе материалов, которые ему удалось получить в США, а также в архивах и библиотеках Муром, Санкт-Петербурга, Москвы.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
М.Я.ФИЛЬШТЕЙН

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
П.А.ХОМЯКОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Е.А.ПИМЕНОВА

Графика, верстка:
Д.А.БРАГИН

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредители:
Президиум РАН,
Издательско-производственное
и книготорговое
объединение «Наука»
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-26-33
Подписано в печать 15.04.2003
Формат 60×88 1/8
Бумага типографская №1,
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 7230
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6