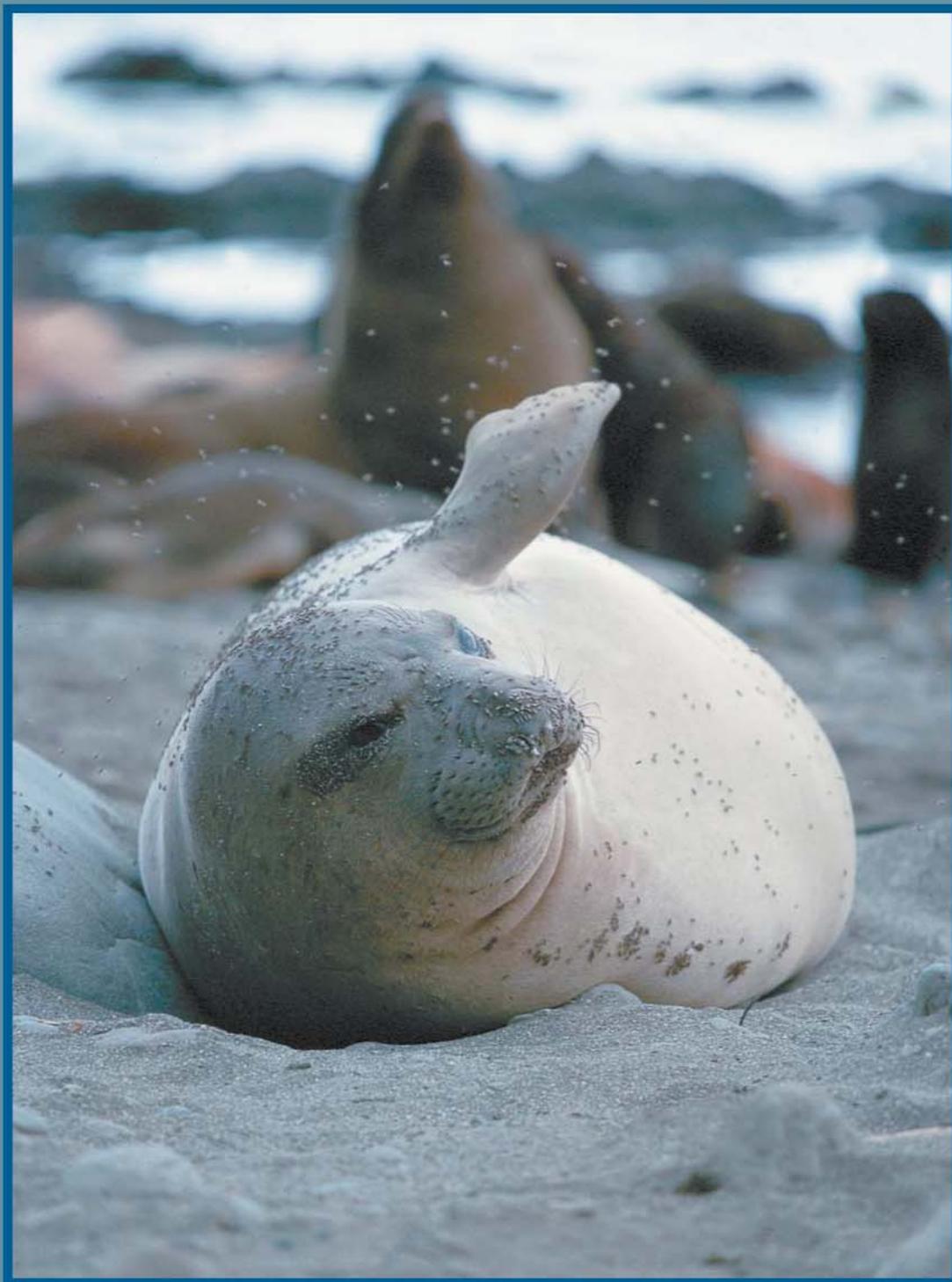


# ПРИРОДА

2 02



**В НОМЕРЕ:**

**3** **Бялко А.В.**  
**Лауреаты конкурса  
популяризаторов науки**

**5** **Иванов М.В.**  
**Наземная микробиология  
и стратегия поиска жизни на Марсе**  
*Изучение марсианских метеоритов возрождает надежду обнаружить жизнеспособные микроорганизмы в горных породах Марса.*

**14** **Ройхель В.М.**  
**Медленные болезни человека  
и животных, вызванные прионами**  
*Поиском возбудителей этих заболеваний занимались ученые около полувека, и лишь пять лет назад выяснилось, что причина инфекции — изменение нормального клеточного белка.*

**21** **Кагеяма Х., Васильев А.Н.**  
**Сетка ортогональных димеров  
в уникальном металлооксиде**  
*Новые вещества, бывает, обогащают наши знания об известном. Для низкоразмерного магнетизма такую роль сыграл борат стронция-меди, чьи удивительные свойства были открыты в Японии.*

**29** **Калейдоскоп**  
Они питались термитами (29).

**30** **Игнатьев С.М.**  
**Гребневик бероз —  
гость или житель Черного моря?**

**Мамаев Е.Г., Челноков Ф.Г.**

**Северный морской слон  
на Командорах (51)**

**Силкин Б.И.**

**Гидротермальная деятельность  
в озере Йеллоустон (62)**

**Басов И.А.**

**Крупные магматические провинции  
океанского дна  
(183-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн») (64)**

**32** **Еланский Н.Ф.**  
**Примеси в атмосфере  
континентальной России**  
*Подвижная обсерватория, перемещающаяся от Москвы до Владивостока, позволила получить уникальные данные о составе атмосферы России.*

**Заметки и наблюдения**

**44** **Комаров В.Н.**  
**Поэзия, застывшая в дереве**

**Булавинцев В.И.**

**Страсти в Кусковском парке (46)**

**Несис К.Н.**

**Морская улитка в роли растения (49)**

**Вести из экспедиций**

**54** **Сагалевиц А.М., Галкин С.В.**  
**Жизнь затонувших кораблей**

**66**  
**Памяти ученого, популяризатора  
науки, педагога**

**67** **Ратнер В.А.**  
**Виртуальная реальность и системы  
управления**

*Согласно авторской концепции, все виртуальные миры вместе со своими системами управления могли возникнуть только эволюционно.*

**72** **Блох А.М.**  
**«Нобелиана» Дмитрия Менделеева**

**78** **Новости науки**

Наблюдения космологической паутины (78). — «Фонтанирует» нейтронная звезда (78). — Гигантская вспышка на Солнце (79). — Древний космический «пришелец» (79). — Модификация поверхности — путь к магнитной памяти (80). — Криогенный автомобиль? Он есть (80). — Фуллерены против гриппа (81). — Дания — за чистоту моря (81). — Внутриплитовые землетрясения наиболее опасны (81). — Землетрясения в заливе Пьюджет-Саунд (82). — Фудзи-сан угрожает (82). — Сезонное сейсмическое «дыхание» Земли (83). — Исчезают шельфовые ледники (83). — Первые находки динозавров в Туве. Алифанов В.Р., Курочкин Е.Н., Забелин В.И., Кудрявцев В.И. (84). — Кто и когда стал первым «кукурузником»? (85). — Горные ледники в тропиках отступают (85).  
Коротко (20, 50)

**86** **Гиляров А.М.**  
**Сложный, но познаваемый геном**

**90** **Новые книги**

**91** **Турсунов О.С.**  
**Встречи с забытым**  
**Астрономические инструменты  
в обсерватории Улугбека**

## CONTENTS:

- 3** **Byalko A.V.**  
**Winners of the Science Popularizers' Contest**

- 5** **Ivanov M.V.**  
**Terrestrial Microbiology and the Strategy to Search for Life on Mars**  
*Research on Martian meteorites revives the hope of finding viable organisms in rocks on Mars.*

- 14** **Roykhel V.M.**  
**Slow Diseases in Humans and Animals Caused by Prions**  
*Infecting agents responsible for these diseases have been sought by scientists for about 50 years now; yet it was only five years ago that they found that the cause of the infection is a change in normal cellular protein.*

- 21** **Kageyama H. and Vasilyev A.N.**  
**A Network of Orthogonal Dimers in a Unique Metal Oxide**  
*New substances occasionally add to our knowledge of the known. For low-dimensional magnetism, this role was played by strontium and copper borate whose amazing properties were discovered in Japan.*

### Kaleidoscope

- 29**  
 They Lived on Termites (29)

### Scientific Communications

- 30** **Ignatyev S.M.**  
**Beroe ovata: A Guest or Inhabitant in the Black Sea?**

**Mamaev E.G. and Chelnokov F.G.**

**The Northern Elephant Seal in the Komandorskie Islands (51)**

**Silkin B.I.**

**Hydrothermal Activity in Yellowstone Lake (62)**

**Basov I.A.**

**Large Igneous Provinces on the Ocean Floor (183d Cruise of the JOIDES Resolution) (64)**

- 32** **Elansky N.F.**  
**Impurities in the Atmosphere of Continental Russia**

*A mobile observatory migrating from Moscow to Vladivostok has produced unique data on the atmosphere of Russia.*

### Notes and Observations

- 44** **Komarov V.N.**  
**Poetry Frozen in Wood**

**Bulavintsev V.I.**

**Passions in the Kuntsevo Park (46)**

**Nesis K.N.**

**A Marine Snail Acting as a Plant (49)**

### News from Expeditions

- 54** **Sagalevich A.M. and Galkin S.V.**  
**The Life of Sunken Ships**

- 66**  
**In Memory of a Scientist, Science Popularizer, and Teacher**

- 67** **Ratner V.A.**  
**Virtual Reality and Control Systems**  
*According to the author's concept, all virtual worlds together with their control systems could originate only evolutionarily.*

### Honorable... but Unhonored

- 72** **Blokh A.M.**  
**The Nobel Nonprize to Dmitri Mendeleev**

### Science News

- 78**  
 Observations of the Cosmological Web (78). — A Flowing Neutron Star (78). — A Giant Solar Flare (79). — An Ancient Cosmic Visitor (79). — Surface Modification as a Path to Magnetic Memory (80). — A Cryogenic Motor Vehicle? Here Is One (80). — Fullerenes against the Flu (81). — Denmark in Favor of Keeping the Sea Clean (81). — Intraplate Earthquakes Are the Most Dangerous (81). — Earthquakes in Puget Sound Bay (82). — Fuji San Threatens (82). — Seasonal Seismic "Breathing" of the Earth (83). — Shelf Glaciers Are Disappearing (83). — First Finds of Dinosaurs in Tuva. **Alifanov V.R., Kurochkin E.N., Zabelin V.I., and Kudryavtsev V.I.** (84). — Who and When Was the First Corn Farmer? (85). — Glaciers in the Tropics Are Receding (85).  
*In Brief (20, 50)*

### Book Reviews

- 86** **Gilyarov A.M.**  
**That Complex but Knowable Genome**

### New Books

- 90**  
**91** **Tursunov O.S.**  
**Astronomic Instruments at Ulugh Beg's Observatory**

# Лауреаты конкурса популяризаторов науки

В 2001 г. прошел очередной – четвертый – конкурс научно-популярных статей, написанных держателями грантов Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ). В этот раз, в сравнении с предыдущими годами, число письменных работ оказалось намного меньше – 102 (начиная с 1998 г. их было соответственно 135, 162 и 138). Особенно сильно снизилось их количество в разделе химии (8 против 17, 17 и 18 в 1998–2000 гг.), несколько умереннее – в науках о человеке и обществе (10 вместо 19, 18, и 16, как было в первых трех конкурсах). Это можно объяснить по-разному, но нам хотелось бы думать, что держатели проектов стали реальнее оценивать свои литературные способности.

В ноябре 2001 г. совет РФФИ подвел итоги конкурса и присудил 41 денежную премию в размере 10 тыс. рублей. Вот перечень победителей:

## Математика, механика, информатика

**Брискин Е.С., Малолетов А.В., Русаковский А.Е., Чернышев В.В.** Теоретические и экспериментальные исследования управляемого движения шагающих машин (Волгоградский государственный университет);

**Головин А.А.** Теория механизмов от Монжа до наших дней: наука и учебная дисциплина (Московский государственный технический университет им.Н.Э.Баумана);

**Кожевникова И.А., Найденов В.И.** Математические модели эффекта Харста (механико-математический факультет МГУ);

**Лобанов А.И., Старожилова Т.К., Черняев А.П.** Резонансные явления в системах типа «реакция–диффузия» (Московский физико-технический институт);

**Мельников Б.Ф.** Программирование недетерминированных игр (Ульяновский государственный университет);

**Полежаев В.И. Соболева Е.Б.** Околокритическая гидродинамика — новое направление в механике сплошных сред (Институт проблем механики РАН, Москва);

**Чернышев Г.Н., Козинцев В.М., Попов А.Л.** Полезные и опасные остаточные напряжения (Институт проблем механики РАН, Москва).

## Физика и астрономия

**Гриднев С.А.** Сегнетоэластические кристаллы: основные свойства, влияние дефектов (Воркутинский государственный технический университет);

**Звездин А.К., Звездин К.А.** Суперпарамагнетизм сегодня: магниты-карлики на пути в мир квантов (Институт общей физики РАН, Москва);

**Моргунов Р.Б., Головин Ю.И.** Магниторезонансное разупрочнение кристаллов (Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка Московской обл.);

**Рашкович Л.Н.** Атомно-силовая микроскопия процессов кристаллизации в растворе (физический факультет МГУ);

**Сурдин В.Г.** Гравитация и звезды (Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга МГУ);

**Трахтенгерц В.Ю., Демехов А.Г.** Космические циклотронные мазеры (Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород).

## Химия

**Бучаченко А.Л.** Химия как музыка (Институт химической физики им.Н.Н.Семенова РАН, Москва);

**Левицкий М.М.** Магнетизм входит в полимеры (Институт элементоорганических соединений им.А.Н.Несмеянова РАН, Москва);

**Федин В.П., Герасько О.А.** Играем в молекулы кукурбитурила (Институт неорганической химии Сибирского отделения РАН, Новосибирск).

## Биология и медицинская наука

**Альтман Я.А., Вайтулевич С.Ф.** Локализация движущегося источника звука: электрические реакции мозга человека и помехоустойчивость слуховой системы (Государственное научно-исследовательское учреждение Институт физиологии им.И.П.Павлова РАН, Санкт-Петербург);

**Бобков А.Ф.** Как и когда это могло случиться: происхождение и эволюция ВИЧ (Научно-исследовательский институт вирусологии им.Д.И.Ивановского РАМН, Москва);

**Захаров И.А.** Сексуальная жизнь божьей коровки (Институт общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН, Москва);

**Иваницкий В.В.** Кто дирижирует ансамблем певчих птиц? (биологический факультет МГУ);

**Касьянов В.Л., Корниенко Е.С.** Семейные тайны морских игл и морских коньков (Институт биологии моря Дальневосточного отделения РАН, Владивосток);

**Петров Н.Б., Алешин В.В.** Регресс в эволюции многоклеточных животных (Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им.А.Н.Белозерского, МГУ);

**Родионов И.М., Тарасова О.С.** Множественность медиаторов в симпатических нервах и регуляция артериального давления (биологический факультет МГУ);

**Хуснутдинова Э.К., Боринская С.А.** Этногеномика: история с географией (Институт биохимии и генетики Уфимского научного центра РАН);

**Цветнова О.Б., Щеглов А.И.** Роль лесных экосистем при радиоактивном загрязнении (факультет почвоведения МГУ);

**Чесунов А.В.** Жизнь морских нематод (биологический факультет МГУ);

**Шейн Е.В.** Удивительные и важные почвенные парадоксы (факультет почвоведения МГУ).

### Науки о земле

**Берлянт А.М.** Виртуальное картографирование (географический факультет МГУ);

**Зотиков И.А.** Антарктический феномен — озеро Восток (Институт географии РАН, Москва);

**Леин А.Ю.** Гидротермальные системы океана и жизнь (Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Москва);

**Михайлов В.Н.** Речные дельты — самые изменчивые природные объекты (географический факультет МГУ);

**Рогачев К.А., Гогина Л.В.** Вихри Ойясио: на север, в одиночку и против течения (Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток);

**Угольников О.С.** Поляриметрия сумеречного неба — ключ к проблеме многократного рассеяния (Институт космических исследований РАН, Москва);

**Цветков Ю.П., Ротанова Н.М.** Аэростаты зондируют Землю (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, Троицк Московской обл.).

### Науки о человеке и обществе

**Зубов А.А., Халдеева Н.И.** Антропозстетика (Институт этнологии и антропологии РАН, Москва);

**Клюев Н.Н.** Экологические итоги реформирования России (Институт географии РАН, Москва);

**Князева М.М.** Человек в культуре: эскиз портрета в истории (Центр региональной политики развития образования, Москва);

**Петренко В.Ф., Кучеренко В.В.** Искусство суггестивного воздействия (факультет психологии МГУ);

**Тишкин А.А., Горбунов В.В.** Этнокультурная история Алтая в эпоху средневековья (Алтайский государственный университет, Барнаул);

**Черных Е.Н.** Биокосмические «часы» археологии (Институт археологии РАН, Москва).

### Создание и развитие информационных, вычислительных и телекоммуникационных ресурсов

**Земсков А.И., Евстигнеева Г.А.** Формирование фондов научно-технических библиотек в современных условиях (Государственная публичная научно-техническая библиотека России, Москва).

## Поздравляем авторов статей с успехом в популяризации науки!

Приведем кое-какие статистические данные прошедшего конкурса. Среди его лауреатов — два академика РАН, один действительный член Академии водохозяйственных наук, три члена-корреспондента РАН, причем один из них — советник Российской академии наук. Большинство руководителей проектов имеют степень доктора наук, девять — кандидата, только один без научных регалий. Средний возраст руководителей вместе с исполнителями далеко не юношеский — 53 года. Молодых ученых, т.е. людей не старше 35 лет, всего лишь пять (один доктор наук, один кандидат и трое «неостепененных»). Как и в прошлые конкурсы, основное количество работ выполнено в Москве, из них в Московском государственном университете — 12, в академических институтах — 15.

В этом последнем по счету конкурсе только одна статья написана четырьмя авторами и еще одна — тремя. Литературные успехи были достигнуты главным образом в сольном исполнении (24 статьи). Нам приятно, что девять лауреатов прежде опубликовали свои труды в «Природе».

Редакция нашего журнала готовит к печати сборники, составленные из научно-популярных статей, авторы которых стали победителями конкурса. Таких сборников выпущено три: «Российская наука: день нынешний и день грядущий» (Academia, 1999. 416 с.); «Российская наука: грани творчества на грани веков» (Научный мир, 2000. 474 с.); «Российская наука на заре нового века» (Научный мир, 2001, 494 с.).

Мы тоже хотели бы устроить своеобразный конкурс — среди читателей — на лучшее название очередного сборника, которое должно начинаться словами «Российская наука». Победителя ждет награда: бесплатная подписка на «Природу» в 2002 г., а также сам сборник.

© А.В.Бялко,  
доктор физико-математических наук  
Л.П.Белянова,  
кандидат химических наук  
Москва

# Наземная микробиология и стратегия поисков жизни на Марсе

М.В.Иванов

Двадцать пять лет назад, в июле и сентябре 1976 г., два блока американской космической миссии «Викинг» совершили мягкую посадку на поверхность Марса и провели первые эксперименты по поиску живых организмов. Мы еще вернемся к драматической истории программы «Викинг» и обсуждению результатов работы миссии «Викинг» на Марсе. Но до этого заглянем ненадолго в последнюю четверть XIX в., в г.Пизу, где за сто лет до полета «Викингов» итальянский астроном и член Санкт-Петербургской академии наук Дж.Скиапарелли (1835–1910) обнаружил на поверхности Марса темные линейные структуры, которые он назвал каналами.

Известный американский астроном П.Лоуэлл (1855–1916) живо заинтересовался результатами наблюдений Скиапарелли и в течение нескольких десятков лет проводил систематические наблюдения поверхности Марса. Лоуэлл и его сотрудники детально описали более 400 каналов, измерили их протяженность и ширину и создали многочисленные карты каналов и оазисов.

Результаты этих исследований опубликованы в книге «Марс и жизнь на нем», вышед-



*Михаил Владимирович Иванов, академик РАН, директор Института микробиологии РАН, президент Российского микробиологического общества, лауреат премии С.Н.Виноградского и премий Правительства РФ в области науки и техники. Главный редактор журнала «Микробиология». Область научных интересов — микробная биогеохимия.*

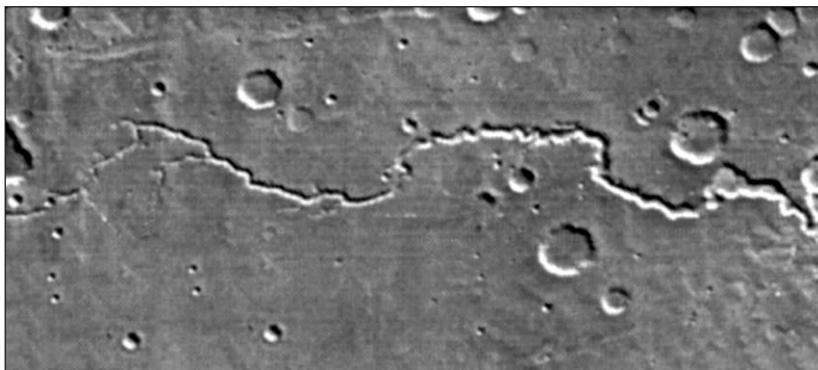
шей в свет в США в 1898 г. и переизданной в России в 1912 г. [1]. Лоуэлл полагал, что сложная сеть каналов была создана разумными обитателями для обеспечения водой поверхности планеты за счет сезонного таяния снеговых полярных шапок. Темные линейные структуры, ширина которых варьирует от 12 до 120 км, — полосы марсианской растительности. Многочисленные оазисы — темные округлые образования на перекрестках каналов — города, населенные разумными существами.

Большой объем новых данных, собранных Лоуэллом, безупречная логика в их интерпретации и блестящий стиль написания книги сделали гипотезу существования на Марсе расти-

тельности и высокоразвитой цивилизации весьма популярной как в научных кругах, так и среди широких слоев читающей публики. Российский астроном Г.А.Тихов (1875–1960) и другие исследователи провели многочисленные спектрофотометрические наблюдения и пришли к выводу, что сезонные изменения окраски некоторых участков поверхности — следствие сезонного развития марсианской растительности.

Таким образом, к началу 50-х годов, когда начали создаваться первые программы изучения Марса с помощью автоматических межпланетных станций, существовали научные теории функционирования на Марсе высших форм жизни — расти-

© М.В.Иванов



Сухое русло древней марсианской реки Нергал с притоками длиной около 400 км.

Снимок НАСА

тельного покрова и сообщества разумных существ, построивших гигантскую ирригационную систему трансмарсианских каналов.

## Стратегия миссии «Викинг»

Основой стратегии поисков жизни на Марсе миссии «Викинг» стали результаты изучения этой планеты в ходе советской программы «Марс» (1962—1974) и американской — «Маринер» (1963—1971). В отличие от исследований предыдущего периода, когда основная информация о Красной планете собиралась путем изучения с поверхности Земли, для получения принципиально иной информации были использованы автоматические межпланетные станции, оснащенные комплексами новейшей измерительной и телевизионной аппаратуры и мощными быстродействующими системами передачи данных на Землю.

Большая часть автоматических станций «Марс» и «Маринер» вела наблюдения в пролетном режиме, причем максимальное приближение к поверхности составляло 3—3,5 тыс. км. С таких расстояний на фотографиях можно уже различить детали размером около 1 км, в то время как при использовании самых

совершенных телескопов наземных обсерваторий удавалось видеть отдельные элементы поверхности размером 60—120 км.

Еще более детальная информация получена с искусственных спутников, доставленных на околомарсианскую орбиту межпланетными станциями «Марс-2 и -3» и «Маринер-9». Наконец, в начале 70-х годов к Марсу были направлены автоматические межпланетные станции. В их состав входили не только орбитальные модули, но и посадочные блоки, которые провели комплекс геофизических исследований и телевизионную съемку района посадки.

Из огромного количества нового материала, полученного автоматическими станциями за 15 лет до полета «Викингов», попробуем выделить данные, касающиеся проблемы поисков жизни и использованные при разработке стратегии экспериментов по обнаружению живых организмов в ходе миссии «Викингов».

Анализ фотографий поверхности, число которых только в результате работы экспедиции «Маринер-9» превысило 7300, привел к выводу об отсутствии высших форм жизни (животных и высших растений) на Марсе. Никаких признаков каналов, оазисов и скоплений растительности на самых детальном снимках увидеть не удалось.

Этот вывод полностью подтвердился материалами климатических и атмосферных исследований. Положительные температуры на поверхности марсианской «почвы» отмечались лишь в узкой приэкваториальной полосе и только летними днями. Воду определили только в атмосфере в парообразном состоянии и очень низкой концентрации.

В наземных условиях похожая экологическая обстановка наблюдается только в полярных пустынях Антарктиды, где отсутствует фауна, а флора представлена лишь низшими формами: мхами, лишайниками, бактериями и мицелиальными грибами. Именно поэтому основные наземные эксперименты, входившие в программу подготовки биологической программы миссии «Викинг», проводились в Антарктиде под руководством профессора В.Вишняка, где он трагически погиб в одной из экспедиций.

Несмотря на явную безнадежность попыток обнаружить высшие живые организмы, работы по поиску низших форм жизни решено было продолжить, и эта часть программы «Викинг» выглядела особенно интригующей. Тем более материалы, полученные с искусственных спутников и посадочных модулей, показывали, что в геологическом прошлом климат Марса не был столь суровым, как сейчас. На фотоснимках, сделанных искусственным спутником, который был доставлен «Маринером-9» (а потом и на снимках, выполненных орбитальным модулем миссии «Викинг»), обнаружены высохшие русла рек с хорошо развитыми системами притоков, с островами и водоемами конечного стока. Это может свидетельствовать о том, что в прошлом там было достаточное количество воды, следовательно, климат был более мягкий, а атмосфера более плотная. Приведенные данные и сходство формирования и геологической эволюции Земли и Марса позволя-

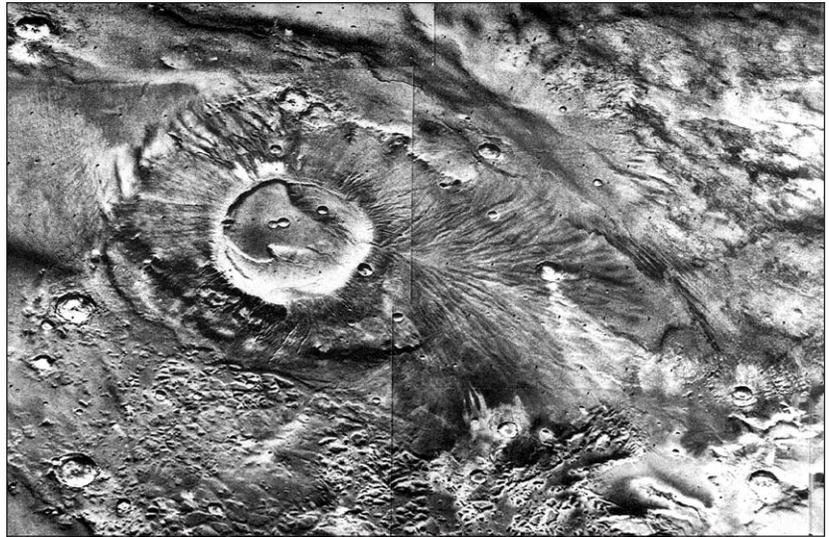
ли предполагать, что на ранних этапах существования Марса процессы возникновения жизни могли происходить так же, как и на нашей планете.

Кроме сети речных палеорусел на поверхности Красной планеты хорошо видны многочисленные горы и различные кратеры — вулканического и ударного происхождения; последние образовались при падении метеоритов. Например, хорошо различимы мелкие структуры на дне кальдеры древнего вулкана Аполлиариус Патера.

В геологической истории Марса, как и в истории Земли, был период интенсивной вулканической деятельности, сопровождавшийся выбросом в атмосферу углекислоты, водяных паров и восстановленных летучих компонентов ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ). Следовательно, палеоатмосфера планеты изначально была восстановленной. О том же, что на смену ей пришла окисленная (кислородсодержащая), однозначно свидетельствуют оранжевые и коричневато-красные тона современной поверхности, обусловленные повышенной концентрацией окислов железа в верхнем слое «почвы». Обобщение разнообразных данных, полученных орбитальными и посадочными блоками «Марса» и «Маринера», привело команду Вишняка к формулировке основных выводов и вытекающих из них задач биологической части программы «Викинг»:

— сходные условия формирования и геологической истории двух соседних планет — Земли и Марса — позволяют полагать, что жизнь на Марсе возникла примерно в то же время, что и на Земле. Следовательно, поиски современных или ископаемых организмов на Марсе не выглядят бесперспективными;

— учитывая крайне суровые экологические условия на современном этапе эволюции Марса, даже более суровые, чем в полярных пустынях Антарктиды, следует ориентироваться на поиск только низших форм ор-



Кальдера марсианского вулкана Аполлиариус Патера. Хорошо видны потоки лавы на склонах вулкана и многочисленные ударные кратеры в кальдере и на склонах.

Снимок НАСА

ганизмов: бактерий, лишайников, низших водорослей. Поиски следует вести в наиболее прогреваемых «почвах» экваториальной зоны Марса;

— принимая во внимание тот факт, что на Земле максимальная плотность низших организмов обнаруживается в поверхностных горизонтах почвы, первоочередной интерес представляет изучение самых верхних горизонтов Марса и поиск в них как фотоавтотрофных, так и гетеротрофных организмов, вернее сказать, не самих организмов, а следов их метаболической активности (жизнедеятельности).

На уровне имевшихся к 1975 г. результатов изучения Марса все три вывода и три вытекающие из них задачи выглядят логически обоснованными. Этого не скажешь, однако, об еще одном — четвертом пункте, а именно: об ориентации на поиск только аэробных организмов (способных жить и развиваться только в кислородной среде). Уже во время подготовки экспедиции «Викинг» было известно, что содержание кислорода в атмосфере

Марса не превышает 0.1—0.4%, поэтому казалось более логичным включить в программу поиск анаэробных микроорганизмов (способных жить и развиваться при отсутствии в среде свободного кислорода). Однако это не было предусмотрено.

## Результаты и уроки миссии «Викинг»

Для поиска следов метаболической активности аэробных гетеротрофных и фотоавтотрофных микроорганизмов в поверхностных горизонтах марсианской «почвы» были использованы следующие методы.

Для обнаружения процесса фотосинтеза образец грунта увлажняли и помещали в освещенную ячейку. Контролем служил темный образец. О наличии фотосинтеза судили по выделению кислорода в освещенной ячейке.

Во втором варианте в атмосферу над увлажненным образцом добавляли  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ , меченные радиоактивным углеродом  $^{14}\text{C}$ . По окончании эксперимента грунт помещали в пиролитическую ячейку и проводили опера-

цию ступенчатого сжигания органического вещества до  $\text{CO}_2$ . В присутствии активных фотосинтетиков часть меченого углерода из  $^{14}\text{CO}_2$  и  $^{14}\text{CO}$  должна включаться в органическое вещество биомассы.

Для определения возможной физиологической деятельности гетеротрофных бактерий также применялся радиоизотопный метод. Образцы грунта увлажнялись питательной средой, в состав которой входили низкомолекулярные органические вещества, меченные углеродом  $^{14}\text{C}$ . В случае присутствия в грунте жизнеспособных гетеротрофных бактерий, окисляющих добавленные органические соединения, в газовой фазе должен появляться  $^{14}\text{CO}_2$ . Контролем служили простерилизованные образцы.

Перечисленные методы многократно использовались в наземных условиях на разных образцах грунта и почвы, отобранных главным образом в Антарктиде. Были получены характерные кривые выделения кислорода и потребления  $^{14}\text{CO}_2$  при фотосинтезе и выделения  $^{14}\text{CO}_2$  при бактериальном окислении радиоактивно меченных органических соединений.

Легко представить волнение исследователей, ожидавших начала задуманных экспериментов на поверхности Марса, за которыми они следили из Центра дальней космической связи на Земле.

И вот на экранах появляются первые результаты. Из увлажненного грунта в освещенной ячейке выделяется кислород, в эксперименте с радиоактивно мечеными органическими соединениями идет интенсивное выделение радиоактивного углекислого газа. Значит, задача решена? В грунте Марса присутствуют и фотосинтетики и гетеротрофы? Однако характер кривых выделения и  $\text{O}_2$ , и  $\text{CO}_2$  совсем иной, чем это было в земных образцах. Выделение газов происходит слишком стремительно в первые же ми-

нуты и быстро прекращается. Невольно напрашивается вывод о том, что это результаты чисто химических взаимодействий добавленных веществ с какими-то компонентами марсианского грунта, — а не биохимической активности живых организмов.

Кроме того, выделение кислорода из увлажненного грунта наблюдается не только на свету, но и в темновом контроле, а выделение радиоактивного  $\text{CO}_2$  происходит не только в случае добавки органических веществ к активному образцу, но и в контрольном варианте со стерилизованным грунтом, где жизнеспособная микрофлора должна погибнуть при нагревании.

Сомнения в биологической природе зафиксированных эффектов газовой выделении особенно усиливаются, когда расширяются результаты определения органических веществ в грунте Марса при использовании метода пиролиза и газохроматографического анализа продуктов пиролиза. Этот эксперимент показывает, что никаких органических соединений в пробах с поверхности Марса нет, а стало быть, нет и клеток микроорганизмов.

Анализ всей совокупности данных, полученных биологическими модулями «Викингов», привел авторов этой программы к выводу о том, что в поверхностном слое марсианского грунта присутствуют пероксидные соединения железа [2]. Именно они окисляли добавленные в грунт радиоактивно меченные органические вещества до углекислоты. Именно из них выделялся кислород при нагревании образцов грунта и при их увлажнении. Остается не совсем ясным, как появились эти пероксидные соединения, хотя большинство исследователей полагает, что они образовались в результате интенсивного космического облучения поверхности Марса, атмосфера которого значительно менее плотная, чем на Земле.

Негативная интерпретация результатов биологических экспериментов с борта «Викингов» привела к приостановке всех программ по поиску жизнеспособных микроорганизмов на Марсе. Большинство экзобиологов переключилось на поиски ископаемых форм.

Не отрицая огромной научной значимости этого направления экзобиологии, я тем не менее полагаю, что проблема обнаружения жизнеспособных микроорганизмов на Марсе остается чрезвычайно актуальной. «Викинги» были ориентированы на поиск микроорганизмов только в одной марсианской экосистеме, а именно в верхних горизонтах «почв», поскольку в условиях нашей планеты именно там обитает наиболее многочисленное и разнообразное микробное сообщество. Наиболее многочисленное и наиболее разнообразное, но не единственное.

Еще в первой половине XX в. усилиями российских и американских микробиологов было показано, что различные, главным образом анаэробные микроорганизмы населяют подземные воды и осадочные породы нашей планеты вплоть до глубин в несколько километров.

## Подповерхностная микробиология

Первые результаты по изучению распространения микроорганизмов в подповерхностных осадочных породах вызвали много вопросов. Материалом являлся керн буровых скважин, и он мог загрязняться микрофлорой буровых растворов. Более тщательно проведенные работы последних двух десятилетий позволили, однако, показать, что в керне специально пробуренных скважин также присутствует жизнеспособная микрофлора, находящаяся в состоянии сверхдлительного анабиоза, продолжительностью как минимум несколько миллионов лет.

Первые надежные данные о сверхдлительном анабиозе микроорганизмов получил сотрудник Института микробиологии С.Абызов [3]. Он в течение 20 лет исследовал ледяные керны на советской антарктической станции «Восток» из скважины, которая бурилась при помощи термобура и без применения растворов. С помощью специального пробоотборника талая вода отбиралась из центральной части ледяного керна. Она использовалась для посева на различные питательные среды и определения количества клеток методом прямого счета.

Проведенные исследования показали, что жизнеспособные клетки микроорганизмов обнаруживают в кернах до глубины более 3 тыс. м от поверхности ледника, а возраст их превышает 400 тыс. лет. Результаты Абызова были подтверждены и двумя группами американских исследователей, которые также обнаружили жизнеспособную микрофлору и микробные биомаркеры в аналогичных образцах.

Количество клеток микроорганизмов в кернах ледяного щита Антарктиды было невелико, поскольку эта микрофлора попадала в Антарктиду путем эолового переноса вместе с частичками пыли. Значительно большие количества жизнеспособных клеток обнаружены сотрудниками лаборатории Д.Геличинского, которые в течение длительного времени изучали распространение микроорганизмов в кернах мерзлых грунтов и осадочных пород Восточной Сибири (табл.1) и Антарктиды [4].

Разнообразные микроорганизмы и водоросли определены в грунтах и породах, возраст которых достигал 3–5 млн лет, причем эти породы постоянно находились в замороженном состоянии, что гарантировало их от загрязнения микрофлорой грунтовых вод.

Последние 10–15 лет в США, России, Швеции и других странах проводились широкомасштабные исследования распро-

Таблица 1

**Количество бактериальных клеток (БК)\* и колонийобразующих психрофильных бактерий (КОБ) в мерзлых породах Колымской низменности [4]**

Породы	Возраст, тыс. лет	БК, Ig(N клеток/г)	КОБ, Ig(N клеток/г)
Почва тундры	современная почва	8.49	5.51
Суглинок озерно-болотного типа	голоцен (7–10)	7.89	3.54
Аллювиальный песчаный суглинок	поздний плейстоцен (20–30)	8.51	5.23
Суглинок озерного происхождения	поздний плейстоцен (20–30)	7.93	3.90
Морские пески	средний плейстоцен (100)	7.87	0
Суглинок озерного происхождения	ранний плейстоцен (300–600)	7.91	0
Суглинок и песчаный суглинок озерного происхождения	поздний плейстоцен (2000–3000)	7.32	2.30

*Примечание.\** Количество бактериальных клеток определялось прямым счетом.

странения жизнеспособных микроорганизмов в породах различного геологического возраста. Принимались специальные меры для контроля загрязнения бурового керна микрофлорой буровых растворов. Главный вывод этих работ заключался в том, что жизнеспособная микрофлора встречалась по всему разрезу осадочных пород, вплоть до самых древних.

Более того, в пористых и трещиноватых породах, насыщенных пластовыми водами, микроорганизмы не только жизнеспособны, но и геохимически активны. В качестве одного из наиболее хорошо изученных объектов можно указать на девонские (410–350 млн лет) нефтеносные песчаники России, в которых выявлены активные микробиологические процессы, вызываемые анаэробными сульфатредукторами и метаногенами [5].

В большинстве упомянутых выше исследований изучалось распространение гетеротрофных микроорганизмов, хорошо растущих на лабораторных питательных средах, а основными объектами изучения были керны осадочных пород различно-

го возраста или подземные воды, циркулирующие в них.

Горные породы Марса представлены в основном изверженными, содержание органического вещества в них существенно ниже, чем в осадочных, и, следовательно, условия существования для гетеротрофных бактерий менее благоприятны. Для понимания пределов функционирования микроорганизмов в подповерхностных горизонтах Марса необходимо остановиться более детально на работах по микрофлоре изверженных пород.

### Подповерхностные автотрофные экосистемы

До недавнего времени о микрофлоре изверженных пород мы судили лишь по анализам микробного населения горячих источников. При этом всегда существовала опасность получить искаженные результаты за счет смешения глубинных нагретых анаэробных растворов с грунтовыми водами, имеющими совершенно иную, в основном аэробную микрофлору. Ситуация

Таблица 2

**Численность микроорганизмов\* в подземных водах из водоносных горизонтов в базальтах Колумбия Ривер [6]**

Тип подземных вод	№ скважины	Воды, обогащенные $\text{SO}_4^{2-}$			Воды с низким содержанием $\text{SO}_4^{2-}$			
		ДС-06	Jw-3	Jw-1	Pr-4	Pr-3	Pr-5	ДВ-11
$\text{SO}_4^{2-}$ , мМ		1.484	0.346	0.215	0.021	0.004	не обнаруж.	не обнаруж.
$\text{H}_2\text{S}$ , мкМ		31.6	93.3	36.2	9.8	13.9	4.2	0.2
$\text{CH}_4$ , мкМ		2	16	25	135	481	185	209
Сульфат-редукторы, lg(Нкл/мл)	$\text{CO}_2+\text{H}_2$	4	1	4	1	3	1	1
Метаногены, lg(Нкл/мл)	ОВ	2	1	3	следы**	4	1	1
Ацетогены, lg(Нкл/мл)	$\text{CO}_2+\text{H}_2$	1	1	4	4	4	4	2
Гетеротрофы, lg(Нкл/мл)	ОВ	следы	1	1	2	2	1	2
Ацетогены, lg(Нкл/мл)	$\text{CO}_2+\text{H}_2$	4	4	4	4	3	4	4
Гетеротрофы, lg(Нкл/мл)	ОВ	4	2	1	2	3	3	1

Примечания. \* Микроорганизмы выращены на питательных средах с органическими веществами (ОВ) и газовой смесью ( $\text{CO}_2+\text{H}_2$ ); \*\* при посеве использован фильтр, через который пропущено 500 мл подземной воды.

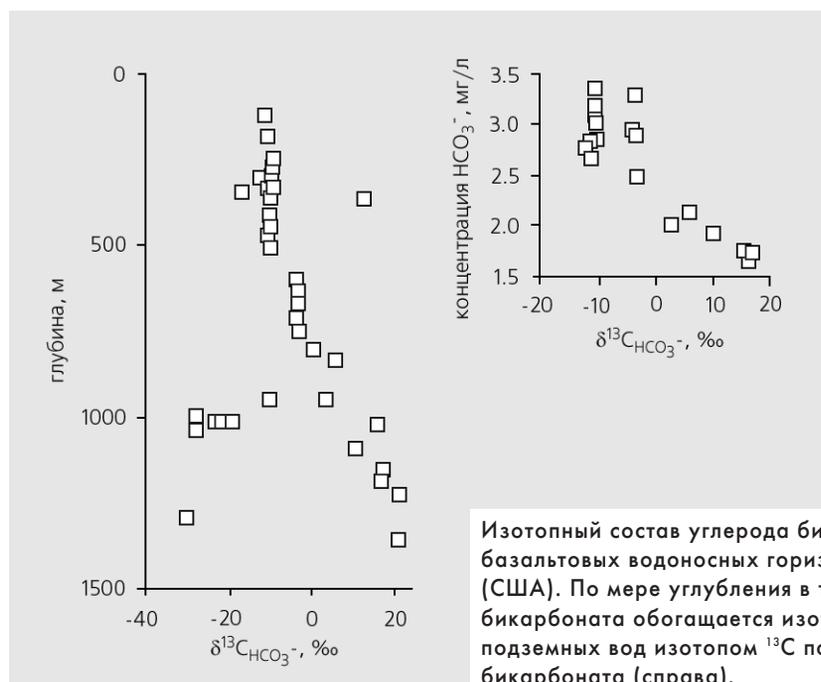
существенно изменилась, когда в США, Швеции, Швейцарии и ряде других стран начались работы по созданию подземных хранилищ радиоактивных отходов. Наиболее подходящие месторождения для такого хранения — крупные массивы базальтов Феноскандинавского щита и бассейна р.Колумбия (Колумбия Ривер, США).

Несмотря на то что содержание органического вещества и в породах, и в воде крайне

низкое, П.Педерсон и его сотрудники установили в водоносных горизонтах базальтов Восточной Швеции многочисленную и разнообразную микрофлору. В наиболее глубоких горизонтах заметно преобладали анаэробные микроорганизмы: сульфатредукторы, метаногены и ацетогены. Численность метаногенов, например, достигала 60—80% от общей численности микробов, учитываемых прямым счетом. Обнаружение

изотопно легких сульфидов и растворенного в воде метана (до 4 мл/л) позволяет говорить о том, что по крайней мере сульфатредукторы и метаногены активно функционируют в подземной экосистеме базальтовых пород. Основным донором электронов для автотрофных анаэробных бактерий цикла серы и углерода служит водород, содержание которого составляет в пробах подземной воды 3.8 — 4.6 мл/л.

Похожая ситуация описана Т.Стивенсом и Дж.Мак-Кинли [6], которые изучали водоносные горизонты базальтовых пород в массиве Колумбия Ривер. Содержание метана в обследованных водах доходило до 160 мкМ, а водорода — до 110 мкМ. Как видно из данных, приведенных в табл.2, численность автотрофных анаэробов, использующих водород в качестве донора электронов (т.е. сульфатредукторов, метаногенов и ацетогенов), превышает численность гетеротрофных представителей этих же групп бактерий. Изотопный

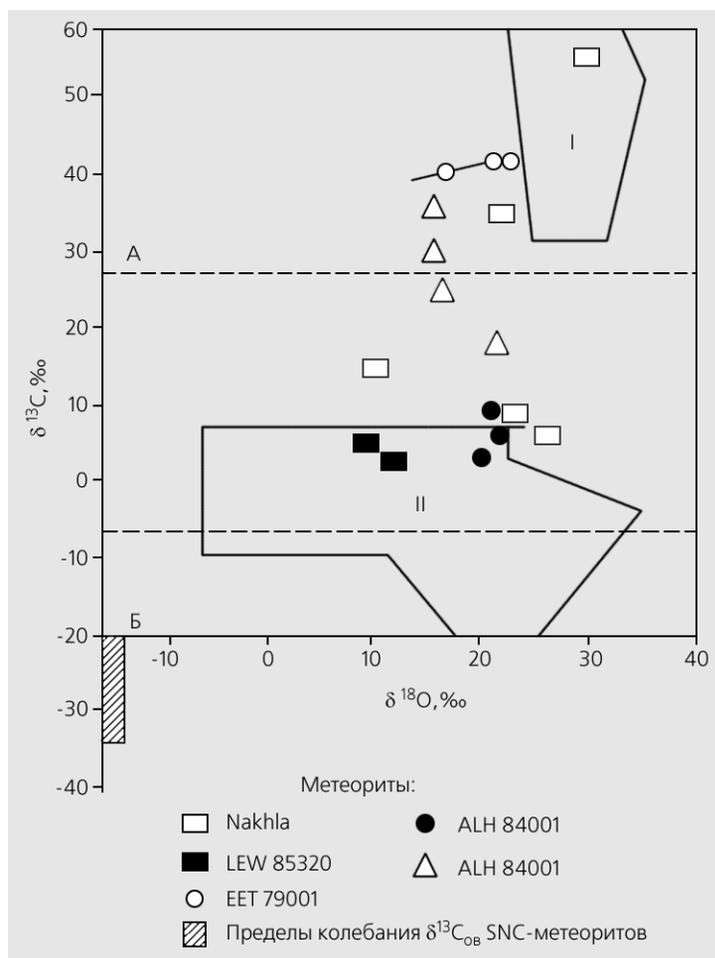


состав углерода бикарбоната подземных вод довольно убедительно доказывает, что по мере потребления углерода бикарбоната в процессе автотрофного метанолиза происходит существенное обогащение остаточного бикарбоната тяжелым изотопом  $^{13}\text{C}$ , вплоть до величин  $\delta^{13}\text{C} = 20\%$ .

Таким образом, две независимые группы исследователей, работавшие в двух разных регионах нашей планеты, пришли к одинаковым выводам: в подповерхностных условиях в изверженных породах существуют анаэробные автотрофные сообщества микроорганизмов, активность которых не зависит от фотосинтеза. Основным донором электронов служит водород, который поступает либо из глубинных магматических очагов, либо образуется *in situ* при взаимодействии базальтов и подземных вод. Здесь наиболее важен процесс автотрофного метанолиза, который сопровождается накоплением метана и органического вещества (биомассы бактерий), а также существенным обогащением остаточного бикарбоната тяжелым изотопом  $^{13}\text{C}$ .

Нам представляется, что существование подобных подповерхностных экосистем в толще изверженных пород Марса вполне вероятно.

Поэтому в сентябре 1988 г. на заседании советско-американской рабочей группы по космической биологии и медицине я предложил начать поиски жизнеспособных микроорганизмов в подповерхностных породах Марса, где есть шансы найти жидкую воду [7]. В первую очередь надо обратить внимание на области с наиболее молодыми проявлениями вулканизма [8], поскольку именно в этих местах можно рассчитывать на остаточную гидротермальную активность, при которой выделяются необходимые для хемолитоавтотрофных микроорганизмов доноры электронов ( $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ).



Изотопный состав углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) и кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) в карбонатах из разных метеоритов. Римскими цифрами обозначены карбонаты: I — углистых хондритов; II — образующиеся при наземном выветривании обычных хондритов. Значения разных авторов для метеорита ALH 84001 взяты из работы [14]. А и Б — изотопный состав  $\text{CO}_2$  марсианской атмосферы: А — данные Ч.Гаметца из [14], Б — Х.Тейлора из [15].

### Геохимические доказательства микробной активности в породах Марса

Косвенные доказательства существования подповерхностной микробной активности на Марсе удалось обнаружить при анализе литературы, посвященной детальному изучению так называемых SNC-метеоритов. По мнению большинства специалистов, они представляют собой куски марсианских изверженных пород, выброшенных в космос из ударных кратеров.

Комплексное изучение минералогии и геохимии SNC-метеоритов дало новые результаты, очень важные для биогеохимиков, интересующихся проблемой происхождения и эволюции живых систем на Марсе. Геохимики из Открытого университета (Великобритания), обнаружив в одних и тех же пробах органическое вещество и карбонатные минералы [9], обратили внимание на существенные различия в изотопном составе углерода карбонатов и органического вещества. Карбонатные минералы SNC-метеоро-

Таблица 3

## Изотопный состав углерода в экспериментах с чистыми культурами метаногенов и в углеродсодержащих соединениях SNC-метеоритов

		Эксперименты с культурами [12]	Углеродсодержащие соединения SNC-метеоритов
		1. Исходные субстраты	
		CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> атм. Марса
		0.0	-6.5 [15] +27.0 [14]
		2. Остаточный субстрат после развития бактерий	
		CO <sub>2</sub> в культуре после развития метаногенов	карбонатные минералы (среднее из 7 проб)
		2.0–63.0	41.0 [14, 15]
		3. Органическое вещество	
		биомасса метаногенов	органическое вещество (13 проб)
		-14.0 – -40.0	-20.0 – -33.0 [9, 14]
		4. Обогащение остаточного CO <sub>2</sub> изотопом <sup>13</sup> C	
$\Delta^{13}\text{C}, \text{‰} =$	$\Delta^{13}\text{C}_{\text{max}}$	63.0	47.5
$= (\delta^{13}\text{C}_{\text{ост.сб.}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{исх.сб.}})$	$\Delta^{13}\text{C}_{\text{min}}$	2.0	14.0
		5. Обеднение органического углерода изотопом <sup>13</sup> C	
$\Delta^{13}\text{C}, \text{‰} =$	$\Delta^{13}\text{C}_{\text{max}}$	-40.0	-60.0
$= (\delta^{13}\text{C}_{\text{биом.}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{исх.сб.}})$	$\Delta^{13}\text{C}_{\text{min}}$	-14.0	-13.5

ритов сильно обогащены изотопом <sup>13</sup>C по сравнению с CO<sub>2</sub> марсианской атмосферы. Средняя величина  $\delta^{13}\text{C}$  составляет +41.5‰. В то же время органический углерод заметно обогащен изотопом <sup>12</sup>C ( $\delta^{13}\text{C}$  колеблется от -20.0 до -33.0‰). Столь заметная величина фракционирования стабильных изотопов углерода может наблюдаться только в низкотемпературных условиях и только при участии живых организмов [10].

По данным Дж.Гудинга [11], карбонаты SNC-метеоритов входят в состав комплекса вторичных минералов, заполняющих трещины и жеоды в основных и ультраосновных породах. Вторичная ассоциация минералов в трещинах метеоритов образовалась из низкотемпературных (ниже 100°C) гидротермальных растворов с pH около 8 и Eh меньше -220 мВ. Такие условия вполне благоприятны для развития термофильных анаэробных микроорганизмов, и можно полагать, что обнаруженные эффекты фракционирования стабильных изотопов углерода — следствие развития хемолитоавтотрофных метаногенов. В табл.3 сравниваются величины  $\delta^{13}\text{C}$  углекислоты (ис-

ходного субстрата для метаногенеза) и органического вещества биомассы метаногенов. В левой колонке приведены данные наших экспериментов с чистыми культурами метаногенов [12], в правой — результаты изучения изотопного состава углеродных соединений марсианских пород и атмосферы Марса. Хорошо видно, что как обогащение остаточной углекислоты изотопом <sup>13</sup>C, так и обеднение этим изотопом органического вещества в обеих колонках имеют сходные величины. Остается только добавить, что в базальтах Колумбия Ривер, где современные процессы метаногенеза доказаны экспериментально, наиболее изотопно-тяжелый остаточный минеральный углерод подземных вод обогащен изотопом <sup>13</sup>C на 37‰ по сравнению с атмосферной углекислотой.

Подводя итоги минералогических и геохимических исследований SNC-метеоритов, необходимо подчеркнуть основные выводы, очень важные для решения проблемы микробной жизни на Марсе. В отличие от данных миссии «Викинг» при изучении SNC-метеоритов обнаружены:

— ключевые соединения цикла углерода — карбонатные минералы и органическое вещество. Следовательно, цикл углерода на Марсе функционирует;

— дополнительные свидетельства существования на Марсе жидкой воды. Об этом говорит морфология выделения вторичных минералов в трещинах и жеодах изверженных пород. Более того, получены сведения, характеризующие эту воду как низкотемпературный гидротермальный раствор;

— доказательства процесса фракционирования стабильных изотопов углерода: установлен изотопно-тяжелый углерод карбонатов и изотопно-легкий углерод органического вещества в одних и тех же пробах. Существенная разница в значениях  $\delta^{13}\text{C}$  карбонатов и органического вещества свидетельствует о биологическом механизме фракционирования изотопов углерода (например, процессе автотрофного метаногенеза).

Иными словами, результаты миссии «Викинг» похоронили надежды экзобиологов найти жизнеспособные клетки микроорганизмов в верхних слоях марсианской почвы. Результаты же изучения SNC-метеоритов

возрождают эти надежды и указывают путь поиска, выдвигая на первый план исследование микробной жизни в подповерхностных горизонтах марсианских горных пород.

## Новая стратегия поиска жизни на Марсе

В заключение еще раз подчеркнем, что в связи с переориентацией поиска жизни с поверхности планеты в подповерхностные породы следует ориентироваться на анаэробные хемолитоавтотрофы: метаногены, ацетогены, железоз-и сульфатредукторы. Наиболее перспективны области молодого вулканизма, где подповерхностные породы прогреваются глубинным тепловым потоком. Кроме того, в таких местах большая вероятность обнаружить поток восстановленных газов. Последние могут служить донорами электронов для обеспечения жизнедеятельности хемолитоавтотрофных микроорганизмов, продуцирующих органическое вещество биомассы в темновых условиях.

Желательно существенно расширить исследование ста-

бильных изотопов. Это касается в первую очередь изучения распространения изотопов углерода, а также кислорода, серы, водорода и азота, так как известно, что при биологических процессах происходит фракционирование стабильных изотопов всех биогенных элементов.

Учитывая тот факт, что все приборы «Викингов» сработали после длительного перелета от Земли до Марса и выдержали режим торможения и посадки, представляется целесообразным использовать тот же набор методов: газообмен, введение меченых соединений углерода (в первую очередь  $\text{CO}_2$  и ацетата, активно потребляемых многими анаэробными микроорганизмами), пиролиз в комбинации с газохроматографическим анализом продуктов пиролиза.

Однако сама схема постановки экспериментов на посадочном модуле должна существенно отличаться от использованной на «Викингах»: исследование надо проводить в анаэробной обстановке; опыты по фиксации  $^{14}\text{CO}_2$  должны выявить наличие анаэробных хемолитоавтотрофов, а не процесс аэробного фотосинтеза; в экспериментах по активизации нативной (естественной) микрофлоры

следует применять не органические соединения, как на «Викингах», когда поиск был направлен на обнаружение гетеротрофов, а восстановленные газы —  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ , добавление которых может активизировать хемолитоавтотрофные микроорганизмы. В экспериментах по газообмену, проводимых с увлажненными образцами в атмосфере водорода, который потребляется большинством анаэробных хемолитоавтотрофов, нужно искать следы их жизнедеятельности — метан, сероводород и ацетат.

В свете всего сказанного желательно также в состав биологического модуля включить масс-спектрометр высокого разрешения, способный измерять стабильные изотопы газобразных соединений биогенных элементов — как природных, так и получающихся при пиролизе исследуемых проб.

Наконец, есть дополнительное требование и к посадочному модулю будущих экзобиологических экспедиций на Марс. Он должен иметь достаточно мощную буровую установку, чтобы можно было отобрать образцы подповерхностных пород, различающихся по составу, из нескольких районов планеты. ■

## Литература

1. Лоуэлл П. Марс и жизнь на нем. Одесса, 1912.
2. Klein H.P. The Viking Biological Investigation // General Aspects, Scientific Results of the Viking Project. Washington, 1977. P.4678—4680.
3. Abysov S.S. Microorganisms in the Antarctic Ice // Antarctic Microbiology. New York, 1993. P.265—295.
4. Vishnevetskaya T., Katbarion S., McGrath J. et al. // Extremophiles. 2000. V.4. P.125—134.
5. Ivanov M.V., Belyaev S.S. Microbial Activity in Waterflooded Oil Fields and Its Possible Regulation // Proc. Intern. Conf. on Microb. Engancement of Oil Recovery. Washington, 1983. P.47—54.
6. Stevens T.O., McKinley J.P. // Science. 1995. V.270. P.450—455.
7. Ivanov M.V. Potential for Searching for chemoautotrophic microorganisms on Mars // USSR Space Life Science. Issue 212 NASA Contract Report 3922 (24). 1989. P.38—40.
8. Boston P., Ivanov M.V., McKey C. // Icarus. 1992. V.95. P.300—308.
9. Wright I.R., Grady M.M., Pillinger C.T. // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1988. V.52. P.917—924.
10. Иванов М.В., Леин А.Ю. // Докл. АН СССР. 1991. Т.321. С.1272—1276.
11. Gooding J.L. // Icarus. 1992. V.99. P.28—41.
12. Ivanov M.V., Belyaev S.S., Zyakun A.M. et al. Carbon stable isotopes fractionation by methane — producing bacteria growing on different substrates // Isotopes in der Nature. Leipzig, 1983. S.139—158.
13. Ivanov M.V., Lein A.Yu. // Space Res. 1995. V.15. №3. P.215—221.
14. Romanek C.S., Grady M.M., Wright I.P. et al. // Nature. 1994. V.327. P.655—657.
15. Jill A.J., Eastoe C.J., Xue S., Herzog G.F. // Meteoritics. 1995. V.30. P.311—318.

# Медленные болезни человека и животных, вызванные прионами

В.М.Ройхель

Эта группа заболеваний прославилась после разразившейся в Великобритании эпизоотии губкообразной энцефалопатии крупного рогатого скота, больше известной под названием «коровье бешенство». К 1997 г. было инфицировано около 1 млн голов крупного рогатого скота, примерно 54 тыс. инфицированных животных попали в пищевую цепь людей [1]. Особенно был напуган мир, когда появились сведения о возможной связи между этим заболеванием и возникновением нового варианта болезни Крейтцфельдта—Якоба — смертельной инфекции человека, которая, в отличие от ее классического варианта, поражает молодых людей, как правило, в возрасте 27 лет [2, 3].

Нет ничего удивительного, что эти события вызвали повышенный интерес специалистов к новому типу инфекции человека и животных. Активизировались поиски, а затем изучение весьма своеобразного возбудителя, принципиально отличающегося от всех известных инфекционных агентов — вирионов, вирусов, бактерий и простейших. Хотя в России нет реальной угрозы массового заражения возбудителем этого экзотического заболевания, тем не



*Виктор Моисеевич Ройхель, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник Института полиомиелита и вирусных энцефалитов им.М.П.Чумакова РАМН. Область научных интересов — медленные прионные болезни человека и животных.*

менее биомедицинские исследования ведутся и у нас.

## «История болезни»

Понятие «медленные болезни» впервые ввел исландский исследователь Б.Сигурдссон еще в 1954 г., который и сформулировал основные характерные черты этой особой формы инфекции: поражение одного органа или одной системы и наличие одного хозяина, продолжительный инкубационный период (от нескольких месяцев до нескольких лет), неуклонное нарастание клинической симптоматики, неизбежно приводя-

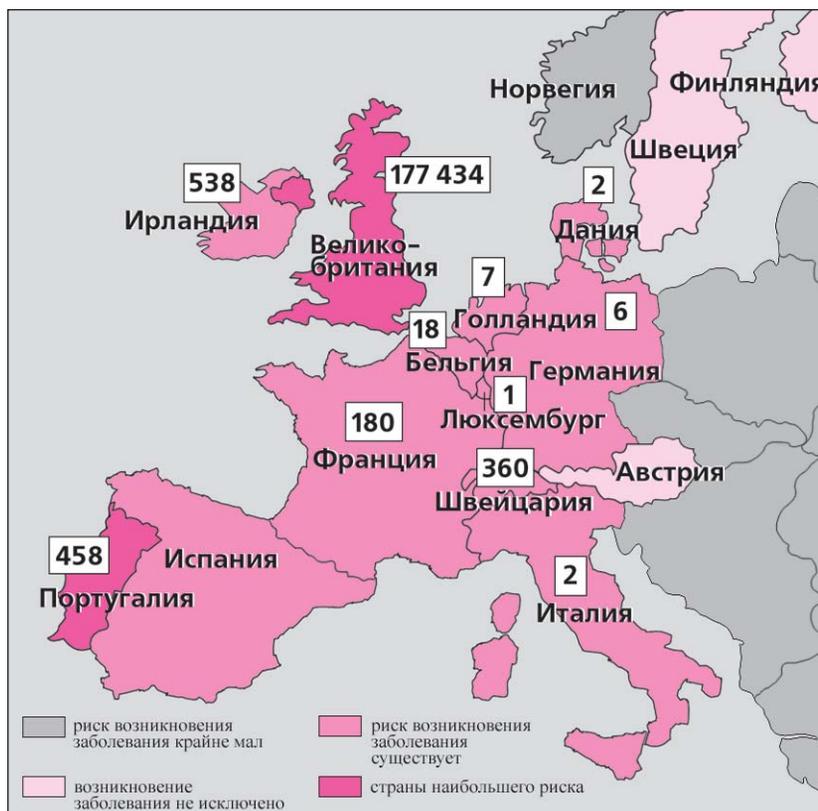
щее к смерти [4]. Сигурдссон изучал медленные болезни только животных (в частности, подробно исследовал распространение овец — скрепи), однако вскоре выяснилось, что они могут поражать и человека. В 1957 г. американский ученый К.Гайдушек описал новое заболевание — куру, выявленное у папуасов-каннибалов, жителей Новой Гвинеи. Болезнь носила массовый характер, и вскоре была доказана ее инфекционная природа. За эти исследования Гайдушек был удостоен в 1976 г. Нобелевской премии.

Возбудителями медленных болезней, как впоследствии вы-

яснилось, могут стать хорошо известные «виновники» острых инфекций: например, вирусы кори, краснухи, герпеса, гриппа, клещевого энцефалита и др. (всего около 40 болезней). Что произойдет в организме — медленное и фатальное течение инфекционного процесса или острое — зависит от условий, в которых оказался возбудитель [5].

Довольно долго считалось, что все медленные болезни вызываются вирусами, однако постепенно, по мере накопления фактического материала, стала выделяться особая группа заболеваний человека и животных, возбудителей которых стали называть «необычными вирусами». Своеобразие этих болезней проявляется в избирательном поражении центральной нервной системы, что неуклонно приводит к губкообразному состоянию серого и/или белого вещества головного и спинного мозга при отсутствии воспалительной реакции. Выяснение патоморфологических и клинических особенностей этих необычных заболеваний позволило выделить их в отдельную группу медленных болезней под общим названием «трансмиссивные губкообразные энцефалопатии» (ТГЭ). По современной классификации, к ним относятся четыре болезни человека и шесть — животных (табл.1).

Все эти заболевания объединяет наличие единого (или близкого по свойствам) возбудителя, общность патогенеза, экспериментально показанная возможность переноса инфекции и воспроизведения клинической и патогистологической картины заболевания [6]. Эти выводы — итог многолетних исследований разных ученых — сформулировал американский биохимик С.Прузинер, получивший в 1997 г. Нобелевскую премию «за открытие прионов — нового биологического принципа инфекций». До этого все попытки обнаружить возбудителей ТГЭ заканчивались неудачей, хотя многое об их свойст-

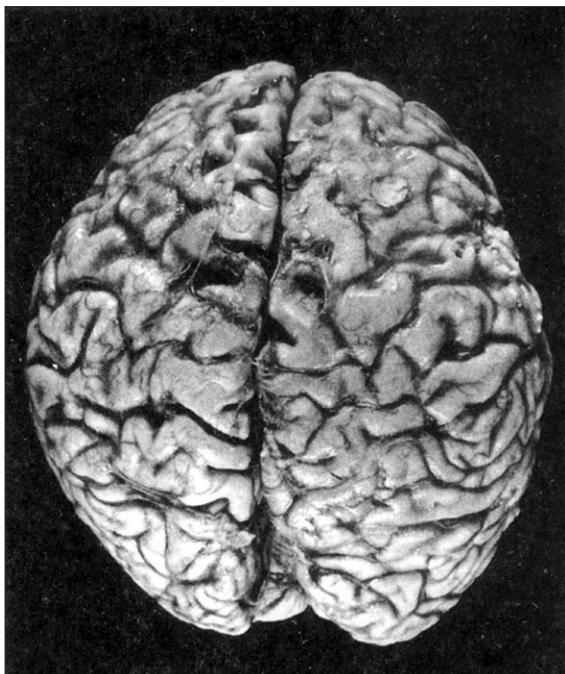


Случаи (указаны числами) «коровьего бешенства» среди сельскохозяйственных животных и риск заражения человека болезнью Крейтцфельда—Якоба в некоторых европейских странах. Риск появления этого заболевания в США и Канаде маловероятен, но не исключен. В остальных странах опасность инфекции крайне мала.

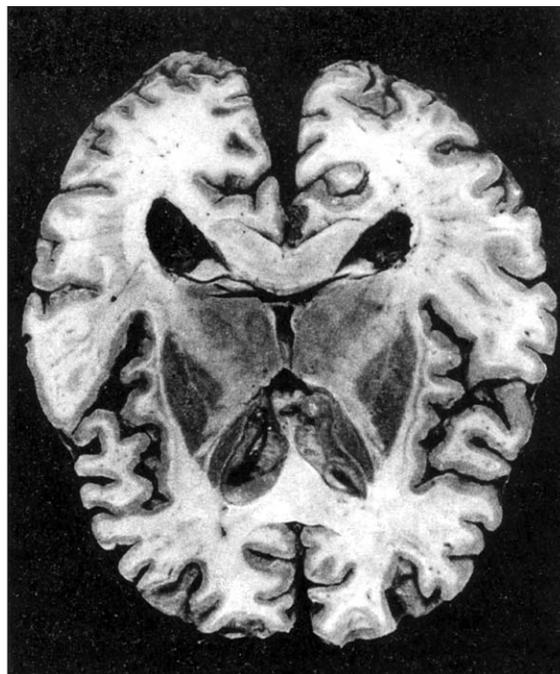
**Таблица 1**

**Прионные болезни человека и животных**

Название болезни	Естественный хозяин
Болезнь Крейтцфельда—Якоба	Человек
Синдром Герстманна—Штреуслера—Шейнкера	Человек
Куру	Человек
Фатальная семейная бессонница	Человек
Скрепи	Овцы и козы
Губкообразная энцефалопатия крупного рогатого скота, или «коровье бешенство»	Коровы и быки
Трансмиссивная энцефалопатия	Норки
Губкообразная энцефалопатия	Кошки
Хроническая изнуряющая болезнь	Олени и лоси
Губкообразная энцефалопатия экзотических животных	Антилопы и большой куду



Головной мозг человека, погибшего от болезни Крейтцфельда—Якоба. Видны явные патоморфологические изменения: уменьшение объема и массы мозга, истончение извилин полушарий большого мозга, преимущественно лобных и теменных долей со значительным расширением борозд в этих областях. (В.А.Зуев, И.А.Завалишин, В.М.Ройхель, 1999.)



Горизонтальный срез головного мозга человека, умершего от спорадической формы болезни Крейтцфельда—Якоба. Заболевание привело к сужению коры мозга в лобной, теменной, височной и затылочной долях, а также произошло некоторое уменьшение объема базальных ядер и таламуса и умеренное расширение желудочков мозга. (В.А.Зуев, И.А.Завалишин, В.М.Ройхель, 1999.)

вах было известно. Прузинер назвал инфекционный агент прионом (частичная анаграмма от англ. **proteinaceous infectious particles** — белковоподобная инфекционная частица), а белок — PrP (от англ. prion protein).

Прионы, действительно, необычные патогены, они не способны вызвать острую форму инфекции. Связано это, видимо, с медленным процессом «перерождения» в зараженном организме неинфекционного клеточного белка PrP<sup>C</sup> (С от англ. cell — клетка) — нормального компонента тканей млекопитающих, в том числе и человека, — в инфекционный прионный белок PrP<sup>Sc</sup> (Sc от англ. scrapie — названия наиболее распространенной в природе прионной инфекции овец и коз).

Поскольку уже ни у кого не вызывает сомнений, что возбудителями ТГЭ могут быть только прионы, такие заболевания принято называть прионными [7]. Практический интерес к этим смертельно опасным инфекциям безусловно связан с событиями последнего времени и увеличивающейся вероятностью встречи с этими болезнями. Теоретический же интерес к проблеме обусловлен результатами молекулярно-биологических исследований прионов — новых и необычных возбудителей тяжелых заболеваний человека и животных, которые, как выяснилось, могут возникать не только в результате инфекции, но и спорадически и даже передаваться по наследству.

## Структура прионных белков

Над выяснением структуры и химической природы возбудителей ТГЭ трудилось немало специалистов в течение, по крайней мере, полувека. В результате появилось большое количество разнообразных гипотез, многие из которых теперь имеют лишь историческое значение. Удача улыбнулась группе исследователей из Калифорнийского университета (США), работающих под руководством Прузинера. Главная их заслуга в том, что им удалось выяснить белковую природу прионов. Разработанная американскими учеными многоступенчатая система выделения исходного инфекционного материала позво-

лила получить препараты, очищенные в 100–1000 раз. Агент оставался устойчивым к воздействию реагентов, инактивирующих нуклеиновые кислоты, что указывало на их отсутствие в его составе. Изучение очищенного препарата показало, что он обладает молекулярной массой около или меньше 50 кДа. В результате дальнейшей очистки приона выяснилось, что его основной компонент — мажорный белок с молекулярной массой 27–30 кДа, обозначаемый как PrP 27–30.

По физико-химической характеристике PrP 27–30 — сиалогликопротеин (олигосахаридсодержащий мембранный белок с остатками сиаловой кислоты, которые придают молекуле отрицательный заряд) и первый идентифицированный структурный компонент приона. Обнаружение PrP 27–30 на этапе развития инфекции, т.е. до появления патологических изменений в тканях, — свидетельство того, что этот белок не может быть вторичным продуктом патологической реакции. Так стало очевидным, что PrP 27–30 играет центральную роль в патогенезе заболевания.

При дальнейшем изучении прионов, выделенных из головного мозга зараженных скрепи животных, были обнаружены частицы в виде стержней диаметром 10–20 нм и длиной 100–200 нм. По ультраструктуре они напоминали амилоид (аномальный белок, который обычно образуется при хронических заболеваниях, например туберкулезе легких, костей и т.д.) и, видимо, представляли собой полимерную форму приона: каждый стержень содержал около тысячи молекул приона.

Важным шагом, имеющим как теоретическое, так и методическое значение, было получение антител при использовании в качестве антигена высокоочищенных прионов скрепи. В сыворотках кроликов, которым вводили PrP 27–30, обнаружены антитела не только к не-

Таблица 2

**Инфицированность органов и тканей больных коров**

Степень инфицированности	Органы и ткани
Высокая	Головной и спинной мозг (кроме коры головного мозга и спинномозговой жидкости), глазные яблоки
Средняя	Селезенка, миндалины, лимфатические узлы, подвздошная кишка тонкого отдела и средняя часть толстого отдела кишечника, спинномозговая жидкость, гипофиз, надпочечники, кора головного мозга, шишковидная железа, плацента, периферическая часть толстой кишки
Низкая	Периферические нервы, слизистая оболочка носа, тимус, костный мозг, печень, легкие, поджелудочная железа
Инфицированность не выявлена	Скелетные мышцы, сердце, молочные железы, почки, щитовидная железа, слюнные железы, половые органы, хрящевая и соединительная ткани, кожа, кость, волосы, а также кровь, молоко, молозиво, слюна, желчь, моча, фекалии

му, но и к другим белкам, отличающимся более низкой молекулярной массой. Очевидно, эти белки либо обладают одинаковой антигенной детерминантой (областью антигена, комплементарной антителу) с PrP 27–30, либо они — продукт его расщепления. При помощи изготовленной антисыворотки с пероксидазной меткой удалось выявить локализацию прионов в определенных отделах головного мозга зараженных животных (табл.2). Согласно ранее полученным данным, структуры, связанные с меченой антисывороткой, обладали характеристикой амилоидных бляшек. Использование антисыворотки к синтетическому пептиду, соответствующему N-концевой части приона, позволило провести индикацию белка скрепиассоциированных фибрилл в головном мозге, селезенке и лимфатических узлах зараженных животных. При этом положительные результаты были получены на ранних этапах инкубационного периода.

Определение аминокислотной последовательности PrP

27–30 позволило в 1985 г. идентифицировать кодирующий его ген *Prnp*. Оказалось, что этот ген содержится в геномах не только инфицированных скрепи животных, но и здоровых. Соответственно мРНК для PrP<sup>C</sup> была выявлена в головном мозге и в других тканях как инфицированных, так и контрольных животных. Используя соответствующую антисыворотку, удалось показать, что в тканях незараженных животных содержится белок, родственный PrP 27–30, но отличающийся от него чувствительностью к обработке протеазой К.

Были изучены также некоторые другие характеристики прионов скрепи и болезни Крейтцфельда—Якоба. В частности, было подтверждено предположение о том, что инфекционная частица агента содержит две молекулы PrP и что так называемые семейные формы (т.е. с наследственной предрасположенностью) прионных заболеваний связаны с конкретными мутациями в гене *Prnp*. Например, мутация, вызывающая замену пролина на лейцин

в 102-м положении PrP, оказалась связана с развитием синдрома Герстманна—Штреусслера—Шейнкера, а замена аспарагиновой кислоты на аспарагин (мутация в 178-м кодоне) может быть связана как с болезнью Крейтцфельдта—Якоба, так и со смертельной семейной бессонницей. К сегодняшнему дню известно уже о 20 мутациях в гене *Prnp* человека, связанных с семейными формами прионных заболеваний.

### Физико-химические свойства

Во второй половине 90-х годов, когда уже была определена аминокислотная последовательность PrP и выявлен ген *Prnp*, начались интенсивные поиски причин патогенности прионов. С помощью современных методов молекулярно-генетического анализа были получены новые данные о возможных вариантах состава и конформации (укладки) полипептидной цепи PrP. В частности, было установлено, что конверсия нормального прионного белка в его инфекционную изоформу — посттрансляционный процесс [8]. Анализ вторичной структуры PrP<sup>Sc</sup> показал, что этот переход характеризуется большими структурными изменениями самого приона. Клеточный белок содержит 42%  $\alpha$ -спиралей и почти не содержит  $\beta$ -тяжей (всего около 3%), в то время как в его инфекционной форме выявляется 30%  $\alpha$ -спиралей и 43%  $\beta$ -тяжей [9]. В экспериментальных исследованиях было подтверждено, что обработка неинфекционного белка реагентами, снижающими образование  $\beta$ -тяжей, также приводила к уменьшению инфекционности перерожденного приона. Одновременно снижалась и устойчивость PrP<sup>Sc</sup> к действию протеазы K, чувствительность к которой считается маркером, отличающим PrP<sup>C</sup> от PrP<sup>Sc</sup>.

Превращение нормального белка в патогенный, судя по всему, происходит путем белок-белковых взаимодействий, при этом не имеет значения, попадает PrP<sup>Sc</sup> в организм извне или возникает в нем спонтанно (в случае спонтанных и наследственных прионных болезней). Как это происходит, уверенно сказать пока нельзя, однако в настоящее время предлагаются две модели, описывающие это превращение: «гетеродимерная» и «полимеризационная». Согласно первой, прионное состояние присуще мономеру белка PrP, который катализирует конформационный переход молекулы PrP<sup>C</sup> в форму PrP<sup>Sc</sup> [10]. После того как нормальный белок приобретает прионные свойства, димер диссоциирует, и две освобожденные молекулы PrP<sup>Sc</sup> могут вновь взаимодействовать с очередными молекулами PrP<sup>C</sup>. Процесс напоминает цепную реакцию и может протекать довольно быстро, однако остается необъясненным механизм образования амилонидных бляшек. Вторая модель с этой точки зрения более перспективна, поскольку рассматривает прион как упорядоченный полимер PrP. Процесс же его конформационной перестройки, согласно этой теории, напоминает кристаллизацию, которую запускает олигомер PrP<sup>Sc</sup> [11]. Отложения белка PrP<sup>Sc</sup> (бляшки) в тканях мозга заболевших людей обычно содержат нитевидные агрегаты этого белка, что свидетельствует об упорядоченной его полимеризации.

Таким образом, в результате разносторонних исследований были получены и систематизированы имеющие принципиальное значение данные о структуре и физико-химических свойствах прионных белков. Анализ этих сведений создал необходимые предпосылки для дальнейшего углубленного изучения биологических особенностей прионных белков и механизма развития вызываемых ими заболеваний людей и животных.

### Биологические особенности

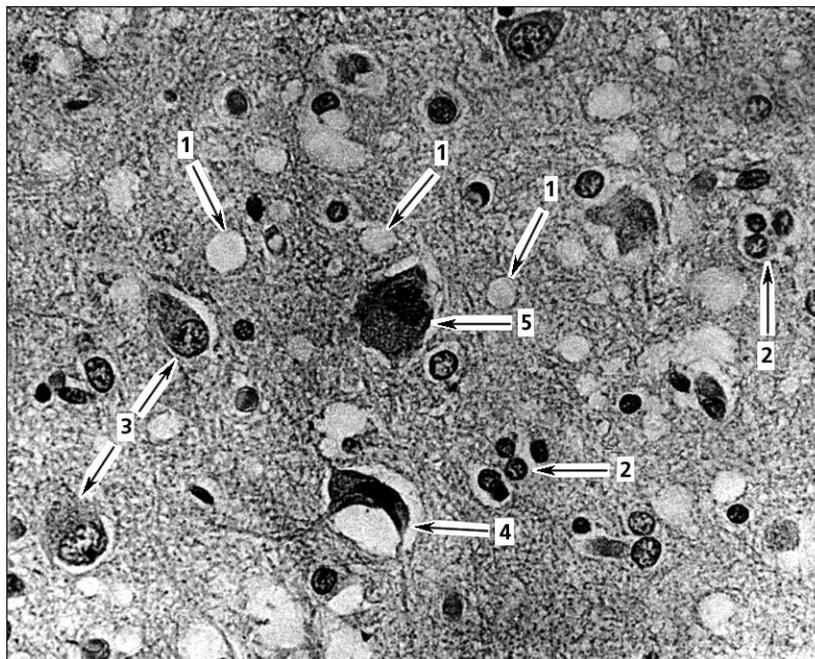
Несмотря на обилие результатов в изучении прионных белков, роль PrP<sup>C</sup> в живом организме до конца не известна. Ясно одно — этот белок жизненно необходим и эволюционно консервативен, поскольку обнаружен у многих млекопитающих, птиц и даже у низших эвкариот. Так, при анализе первичной структуры PrP<sup>C</sup> было выявлено, что 80% последовательностей PrP<sup>C</sup> у разных видов животных идентичны, исключение составлял лишь куриный PrP<sup>C</sup>, где идентичность последовательностей по отношению к другим видам составляла всего 30%. Тем не менее 24 аминокислотные последовательности, располагающиеся между 112-м и 135-м аминокислотными остатками, содержатся в геномах всех млекопитающих, а также кур.

В экспериментах на трансгенных мышах, гомозиготных по потере гена *Prnp*, было показано, что эти животные после рождения росли «нормальными», но спустя 70 недель у них развились прогрессирующие симптомы атаксии, в частности нарушилась моторная координация вследствие экстенсивной потери клеток Пуркинье (крупных нейронов коры мозжечка). Помимо этого, установлено, что PrP<sup>C</sup> играет важную роль в регуляции циркадианных (суточных) ритмов, возможно, участвует в активации лимфоцитов, а также выполняет функции трофического фактора для некоторых популяций нейронов. Сохранность PrP<sup>C</sup> имеет значение для реализации нормальной функции синапсов. В последние годы появились данные, свидетельствующие о роли клеточного белка в регуляции сна, и более того — возникновение смертельной семейной бессонницы связывают с нарушением нормальной функции этого белка [12]. В исследованиях *in vitro* было показано, что PrP<sup>C</sup> вовлекается в процессы регуляции

содержания внутриклеточного  $Ca^{+}$  в нейронах [13]. Уже доказанным можно считать и значение нормального клеточного приона в сохранении резистентности нейронов и астроцитов к окислительному стрессу, и участие этого белка в метаболизме меди в головном мозге [14]. А совсем недавно были получены данные об участии PrP<sup>C</sup> в трансдукции сигналов в нервной ткани [15]. Этот список можно было бы продолжить, но и так ясно, что представления о биологической значимости PrP<sup>C</sup> в последние годы существенно расширились.

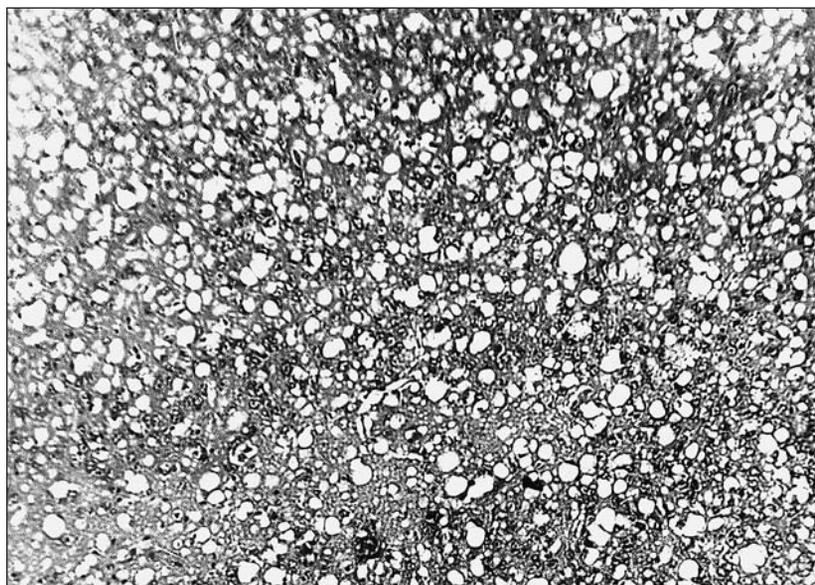
Теперь стало известно, что PrP<sup>C</sup> синтезируется в эндоплазматической сети и довольно быстро деградирует (всего за 5–6 часов). Синтезированный PrP<sup>C</sup>, проходя через аппарат Гольджи, транспортируется на поверхность клетки, где он связывается с гликофосфатидилинозитолом и в дальнейшем переносится вдоль аксона при помощи быстрого и активного (антероградного) транспорта. В отличие от PrP<sup>C</sup> инфекционный прионный белок первично аккумулируется в клетках, накапливаясь в цитоплазматических везикулах. Дальнейшее его накопление в синаптических структурах и связанная с этим дезорганизация синапсов, очевидно, становится причиной глубоких неврологических дефектов и деменции.

В изучении патогенеза и эпидемиологии прионных болезней существует много белых пятен. К ним относятся, в частности, пути передачи заболевания в природе, взаимосвязь болезней человека и животных, определение «входных ворот» инфекции [16]. Судя по всему, наиболее вероятный путь передачи заболевания — алиментарный. Правомность этого вывода была косвенно подтверждена, когда для искоренения куру на о.Новая Гвинея достаточно было запретить обычай ритуального каннибализма. Доказано это было и в экспериментах, в которых животным (в том чис-



Микрофотография губкообразных изменений в коре большого мозга, вызванных прионами (болезнь Крейтцфельда—Якоба).

1 — микровакуоли, 2 — погибающие нейроны с глиальными узелками, 3 — гипертрофия астроцитов, 4 — сморщенный нейрон, в котором уменьшились по объему цитоплазма и ядро, 5 — нейрон, в котором скопилось много липофусцина и произошло смещение ядра. Увел.  $\times 400$ . (В.А.Зуев, И.А.Завалишин, В.М.Ройхель, 1999.)



Микрофотография конечной фазы губкообразных изменений в коре большого мозга: некоторые вакуоли слились и образовали более крупные полости, нейроны уже погибли. Увел.  $\times 100$ .

ле и приматам) скармливали высокоинфицированные субстраты — ткани головного мозга больных животных.

Получение новых данных позволило заключить, что прионные болезни — нейродегенеративные, в возникновении которых фундаментальную роль играют конформационные изменения прионов, а сам механизм развития болезни беспрецедентен.

\* \* \*

Результаты исследований, проведенных в последние 10—15 лет, позволили с новых позиций подойти к вопросу о природе агентов ТГЭ, а сумма полученных новых знаний о прионах послужила основанием для оптимистического высказывания Прузинера: «Эра черного ящика биологии скрепи и болезни Крейтцфельда—

Якоба, возможно, подходит к концу». Хочется надеяться, что проблема медленных прионных болезней действительно будет решена в скором будущем. Успехи в этой области очевидны, о чем свидетельствует хотя бы то, что на протяжении 20 лет Нобелевский комитет дважды отмечал ученых за достижения в одной и той же области медико-биологических исследований. ■

## Литература

1. Кемпбелл П.Н. // Вопр. биол., мед. и фармац. химии. 1998. №4. С.34—40.
2. Hill A., Debruslais M., Joiner M. et al. // Nature. 1997. V.389. P.448—450.
3. Calza L., Manfredi R., Chiodo F. // Recenti Prog. Med. 2001. V.92. P.140—149.
4. Sigurdsson P. // British Veterinary J. 1954. V.110. P.341—354.
5. Зуев В.А. Медленные вирусные инфекции человека и животных. М., 1988.
6. Prion Biology and Diseases / Ed. S.B.Prusiner. N.Y., 1999.
7. Зуев В.А., Завалишин И.А., Ройхель В.М. Прионные болезни человека и животных. М., 1999.
8. Pan K., Baldwin M., Nguyen J. et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. 1993. V.90. P.10926—10966.
9. Smith C., Collinge J. // Essay Biochem. 1995. V.29. P.157—174.
10. Cohen F.E., Pan K.M., Huang Z. et al. // Science. 1994. V.264. P.530—531.
11. Jarrett J.T., Lansbury P.T. // Cell. 1993. V.73. P.1055—1058.
12. Tobler I., Deboer T., Fisher M. // J. Neurosci. 1997. V.17. P.1869—1879.
13. Herms J., Tings T., Dunker S. et al. // J. Neurobiol. Dis. 2001. V.8. P.324—330.
14. Brown D. // J. Brain Res. Bull. 2001. V.55. P.165—173.
15. Martins V., Mercadante A., Cabral A. et al. // Braz. J. Med. Biol. Res. 2001. V.34. P.585—595.
16. Ройхель В.М. Патогенез и диагностика некоторых медленных прионовых нейроинфекций: Автореферат на соискание ученой степени доктора медицинских наук. М., 1997.
17. Brown P. // J. Microsci Res. Tech. 2001. V.54. P.71—80.

В 2000 г. археолог-любитель Ф.Годдио (F.Goddio) обнаружил на дне залива Абу-Кир (средиземноморское побережье Египта) следы древнего г.Гераклеона. В 2001-м там же он нашел остатки порта, датированного VI в. до н.э. Сквозь слабо прозрачные воды различались очертания трех пятиметровых сооружений — монумента богу Хапи, стелы из черного гранита и величественного наоса (святилища). По мнению египтолога Ж.Йойота (J.Yoyotte), стела служила своеобразным «дорожным указателем»: вырубленные на ней надписи подтверждали местоположение Гераклеона

и обозначали пролежавший к нему фарватер, которым следовали все чужеземные суда, направлявшиеся в Египет. Sciences et Avenir. 2001. №653. P.11 (Франция).

Хабтаган — дикий двугорбый верблюд, принадлежащий к виду бактрианов (*Camelus bactrianus*), — обитает в пустынях Центральной Азии. От своего домашнего сородича он отличается более легким сложением, меньшими горбами и более длинными конечностями, а также способностью пить соленую воду.

Хабтаган внесен в Красную книгу Международного союза охраны природы. Однако, несмотря на низкую численность популяции (около 100 особей) и ее дальнейшее сокращение, на диких бактрианов ведется варварская охота, в том числе и с применением минирования подходов к водопою. Для принятия специальных мер по защите хабтагана предлагается в ближайшее время пересмотреть его статус.

Sciences et Avenir. 2001. №649. P.41 (Франция).

# Сетка ортогональных димеров в уникальном металлооксиде

Х.Кагеяма, А.Н.Васильев

Давно известный человечеству магнетизм, наряду со сверхтекучестью и сверхпроводимостью, принадлежит к числу квантовых явлений, которые наблюдаются в конденсированных средах при низких температурах. Их называют кооперативными, поскольку они связаны с коллективным, взаимосогласованным поведением огромного числа частиц. Магнетизм обусловлен сугубо квантовым обменным взаимодействием — именно оно играет главную роль в упорядочении магнитных моментов и ответственно за существование ферромагнетиков и антиферромагнетиков\*. Каждое из перечисленных выше явлений представляет фундаментальный интерес и поворачивается новыми гранями, когда возникают новые объекты исследования. В списке таких объектов важное место сейчас заняли низкоразмерные магнетики, и самый привлекательный из них, пожалуй,  $\text{SrCu}_2(\text{VO}_3)_2$ . Этот сложный металлооксид стал единственным пока реальным воплощением системы, свойства которой были теоретически предсказаны еще 20 лет назад. Понижение размерности

\* Подробно о ферромагнетизме, антиферромагнетизме и обменном взаимодействии см.: Куркин М.И. А.С.Боровик-Романов в моей жизни // Природа. 1999. №11. С.57–64.

© Х.Кагеяма, А.Н.Васильев



**Хироши Кагеяма (Hiroshi Kageyama)**, научный сотрудник Института физики твердого тела Токийского университета (Япония). Область научных интересов — синтез и исследование физических свойств низкоразмерных магнетиков.



**Александр Николаевич Васильев**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Занимается исследованием сильнокоррелированных электронных систем при низких температурах. Член редколлегии журнала «Природа».

магнитной подсистемы и геометрия последней оказывают решающее влияние на формирование магнитного состояния вещества. И перед рассказом о результатах новых исследований полезно коснуться вопроса о том, что, собственно, размерность магнитной подсистемы из себя представляет.

## Размерность в мире магнетиков

Рассматривая кристаллическую систему с точки зрения магнитного упорядочения, размерность можно определить как число независимых направлений в пространстве, вдоль которых наблюдается периодич-

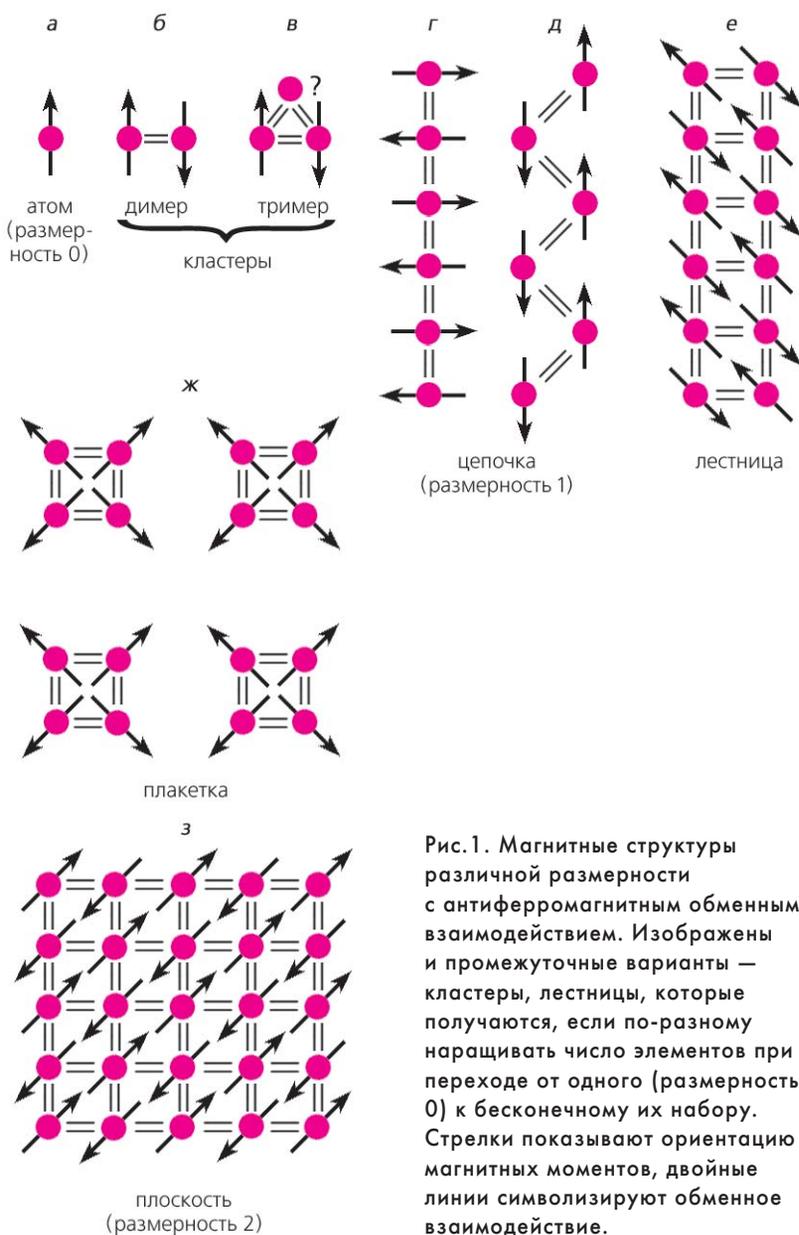


Рис.1. Магнитные структуры различной размерности с антиферромагнитным обменным взаимодействием. Изображены и промежуточные варианты — кластеры, лестницы, которые получаются, если по-разному наращивать число элементов при переходе от одного (размерность 0) к бесконечному их набору. Стрелки показывают ориентацию магнитных моментов, двойные линии символизируют обменное взаимодействие.

жат кластерам из нескольких близко расположенных ионов и спиновым лестницам, представляющим собой две или несколько близких друг к другу магнитных цепочек. Некоторые из низкоразмерных магнитных структур показаны на рис.1.

Самый элементарный магнитный кластер, какой можно вообразить, — димер, просто уединенная пара ионов. Если ионы в димере связаны антиферромагнитным взаимодействием, в нем при низких температурах формируется спиновое синглетное состояние. Спиновый синглет — это такая конфигурация спинов, в которой проекция их суммарного магнитного момента на любое направление равна нулю. Однако в этом случае, хотя по отношению друг к другу магнитные моменты и антипараллельны, определить конкретное их направление невозможно. Другой вариант взаимной ориентации спинов дает триплет, когда упомянутая проекция может принимать одно из трех значений (в том числе и нулевое, но при этом направление спинов в пространстве задать можно). Синглетное состояние в антиферромагнетиках соответствует минимуму энергии и отделяется от возбужденных триплетных состояний спиновой щелью, т.е. переход из первого в последние требует определенных затрат энергии. Образование спиновой щели в магнетиках приводит к тому, что при низких температурах в них не достигается магнитного упорядочения, которого было бы совершенно естественно ожидать, поскольку каждый атом системы магнитный момент имеет.

Представляя, конечно, самостоятельный интерес, проблема формирования спиновой щели привлекает внимание и благодаря похожему на «спин-щелевое» поведению высокотемпературных металлооксидных сверхпроводников. Сейчас уже твердо установлено: наличие или отсутствие щели зависит от взаимного расположения спинов, их

ность интересующей нас величины — в данном случае ориентации магнитного момента. Но исходя только из расположения магнитных ионов в кристалле, говорить о размерности трудно. Так, обладающий магнитным моментом ион переходного металла, регулярным образом повторяющийся в кристалле, при высоких температурах может рассматриваться в качестве 0-мерной системы. С понижением температуры, когда обменное взаимодействие начинает играть

заметную роль, эти ионы способны сформировать трехмерное антиферромагнитное или ферромагнитное состояние. Если же ионы, подчиняясь мотивам кристаллической решетки, образуют удаленные друг от друга цепочки или плоскости, так что обменное взаимодействие «не дотягивается» от одних цепочек до других, магнитное упорядочение может не наступить вовсе. Промежуточные состояния (в смысле перехода от 0-мерной системы к любой другой) принадле-

величины и значений констант обменного взаимодействия.

В последние годы был обнаружен ряд разнообразных металлооксидных соединений с синглетным основным состоянием. Яркими представителями этого класса веществ служат, например:

**CuGeO<sub>3</sub>** — одномерная цепочка полуцелочисленных спинов ( $S = 1/2$ ), испытывающая спин-пайерлсовское\* превращение [1];

**YBaNiO**, — одномерная цепочка целочисленных спинов ( $S = 1$ ), или система Холдейна [2];

**SrCu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** — система промежуточной размерности, или спиновая лестница ( $S = 1/2$ ) [3];

**CaV<sub>4</sub>O<sub>9</sub>** — двумерная система типа «плакетки» ( $S = 1/2$ ) [4].

Как расположены магнитные ионы в структуре данных соединений, можно увидеть среди примеров на рис.1.

Недавно к этому списку было добавлено еще одно вещество, **SrCu<sub>2</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>**, обладающее магнитной подсистемой нового типа — двумерной сеткой ортогональных димеров ( $S = 1/2$ ) [5]. Оно близко примыкает к высокотемпературным сверхпроводникам: также обладает слоистой структурой, «спин-щелевым» поведением и при небольшом изменении параметров способно к антиферромагнитному упорядочению. Особенно привлекательным оксид SrCu<sub>2</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> делает то, что волновая функция и, следовательно, характеристики его основного состояния вычисляются точно. Можно без преувеличения сказать, что это уникальная ситуация в квантовой механике — среди реальных объектов до сих пор был «обсчитан» строго, без использования приближений, только атом водорода. Для гипотетической сетки ортогональных димеров задача была решена 20 лет назад [6]. Тогда одним из результатов стал следующий вывод: триплетные возбужденные состояния

сетки ортогональных димеров должны быть чрезвычайно локализованными. Это означает, что возбуждения не могут передаваться от одного димера к другому, т.е. перемещаться в пространстве. И вот теперь локализация триплетных возбуждений была подтверждена экспериментально: о ней свидетельствуют квантованные плато на кривой намагниченности, о чем речь пойдет дальше.

### Как устроен наш оксид

SrCu<sub>2</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, официально именуемый борат стронция-ме-

ди, имеет тетрагональную кристаллическую решетку с постоянными элементарной ячейки при комнатной температуре  $a = b = 8.995\text{Å}$ ,  $c = 6.649\text{Å}$ . Чтобы представить кристаллическую структуру этого соединения, удобно рассмотреть ее в CuBO<sub>3</sub>-плоскости (рис.2,а). В этой плоскости прямоугольные планарные комплексы CuO<sub>4</sub> связаны между собой треугольными группами BO<sub>3</sub>. Слои CuBO<sub>3</sub> разделены прослойками немагнитных Sr<sup>2+</sup> ионов. Все ионы Cu<sup>2+</sup> имеют спин 1/2 и располагаются в кристаллографически эквивалентных позициях. Уникальная двумерная сетка, образованная спинами ионов Cu<sup>2+</sup>, показана

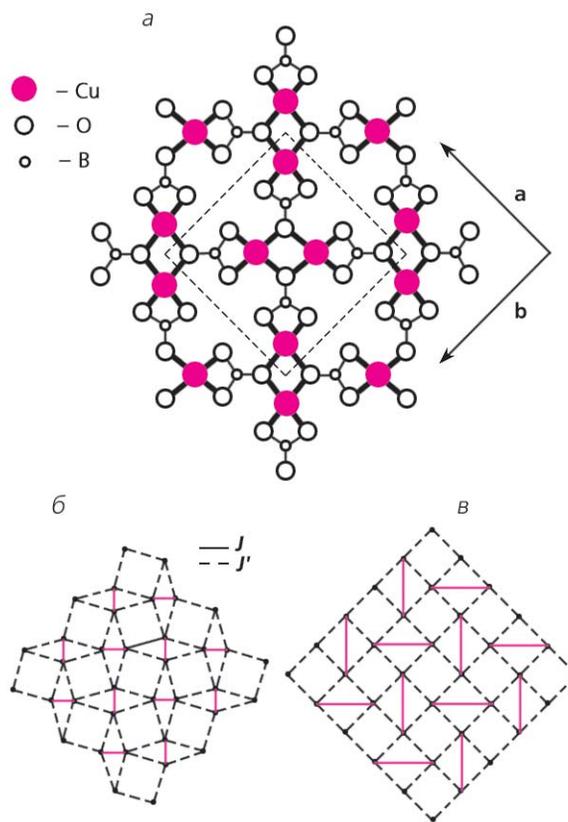


Рис.2. Расположение магнитных димеров в виде ортогональной сетки: а, б — в плоскости CuBO<sub>3</sub> решетки бората стронция-меди; в — в модели Шастри—Сазерленда. Цветом отмечены атомы Cu, пунктиром — элементарная ячейка.

На схемах б, в цветными линиями показаны сами димеры (ионы в них связаны обменным взаимодействием с константой  $J$ ), штриховыми — даны направления связи между димерами, характеризуемой обменным взаимодействием  $J'$ .

\* О спин-пайерлсовском переходе см. Васильев АН. Спин-пайерлс // Природа. 1997. №12. С.33—43.

на на рис.2,б. Ближайшие ионы  $\text{Cu}^{2+}$ , находящиеся на расстоянии  $2.905\text{\AA}$  друг от друга, образуют магнитные димеры. Связь между димерами, расположенными на расстоянии  $5.132\text{\AA}$  друг от друга, осуществляется через ионы  $\text{V}^{3+}$ . Димеры в каждом слое, строго говоря, не находятся в одной плоскости: вертикальные димеры несколько смещены вдоль оси  $c$  по отношению к горизонтальным димерам.

Для описания магнитных свойств двумерных систем хорошо подходит модель Гейзенберга, в которой можно учесть обменное взаимодействие двух видов — внутри димеров и между ними (с обменными константами  $J$  и  $J'$  соответственно). Напомним, что обменные константы характеризуют силу и направленность обменного взаимодействия. Если  $J > 0$ , взаимодействующие спины стремятся выстроиться антипараллельно (антиферромагнитное упорядочение), а если  $J < 0$  — наоборот, параллельно (как в ферромагнетиках). Наша сетка спинов уди-

вительно похожа на ту, которую теоретически исследовали Б.Шастри и Б.Сазерленд [6], см. рис.2,в. Если удлинить связи внутри димеров, присутствующие в решетке реального соединения, ее можно привести к решетке того самого гипотетического объекта, добившись топологической эквивалентности двух систем. Важная особенность этой спиновой сетки — ортогональность димеров, т.е. тот факт, что ближайшие друг к другу димеры располагаются во взаимно перпендикулярных направлениях. Другая характерная черта — фрустрация магнитного взаимодействия двух соседних димеров, вытекающая из треугольного расположения одной  $J$  и двух  $J'$  связей\*. Данным термином, пришедшим из психологии, обозначают безысходную в смысле выбора ситуацию (известную как феномен Буриданова осла): магнитный

момент в вершине равнобедренного треугольника, образованного тремя ионами, не может быть параллелен (или антипараллелен) одновременно обоим магнитным моментам в основании треугольника, если те направлены в разные стороны. Именно поэтому на рис.1,в у вершины треугольника не указано направление магнитного момента — вместо стрелочки поставлен знак вопроса. Очевидно, что фрустрация имеет место независимо от знака величины  $J'$  для взаимодействия между ионом в вершине и ионами в основании треугольника, если взаимодействие между последними антиферромагнитно ( $J > 0$ ). В реальных физических системах такая ситуация приводит к удивительному результату: в системе заведомо магнитной магнитное упорядочение не наступает вовсе.

\* О фрустрации в системах взаимодействующих спинов см.: Дорощев ЕА, Доценко ВС. Спиновые стекла: новая термодинамика // Природа. 1994. №12. С.12—22.

## Измеряем спиновую щель

Самый простой способ заметить спиновую щель в спектре магнитных возбуждений — измерить магнитную восприимчивость вещества. Если при низких температурах восприимчивость магнетика вдоль любого из кристаллографических направлений равна нулю, то в нем, надо полагать, сформировалось синглетное основное состояние, пребывая в котором, система на внешнее магнитное поле реагировать не может. Температурные зависимости магнитных восприимчивостей  $\chi_{\parallel}$  и  $\chi_{\perp}$  (в направлении, параллельном и перпендикулярном слоям магнитных димеров в  $\text{SrCu}_2(\text{VO}_3)_2$  соответственно) представлены на рис.3. Наблюдаемая в этих измерениях магнитная анизотропия обусловлена анизотропией факторов спектроскопического расщепления. Но она не мешает видеть, что с понижением температуры восприимчивость достигает максимума при 15 К и затем бы-

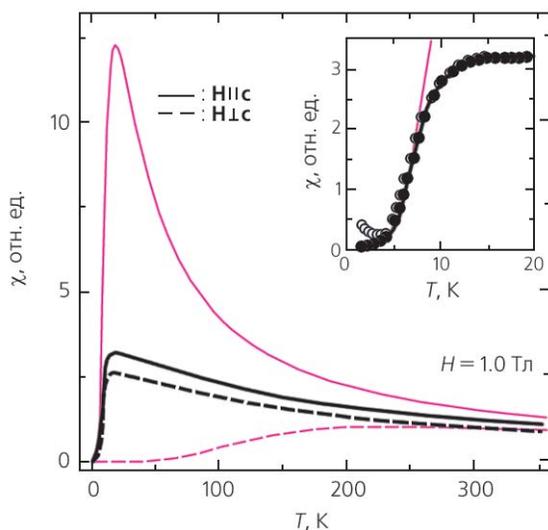


Рис.3. Температурные зависимости магнитной восприимчивости при разных направлениях магнитного поля. Во вставке дана в увеличенном масштабе область низких температур, где прямой показана активационная аппроксимация, позволяющая найти величину спиновой щели  $\Delta$ . Цветными кривыми представлены теоретические расчеты для модели изолированных димеров.

стро спадает к нулю, демонстрируя существование энергетической щели в спектре спиновых возбуждений. Слабое возрастание магнитной восприимчивости при самых низких температурах обеспечивается небольшим числом самостоятельных, не связанных в димеры магнитных ионов  $\text{Cu}^{2+}$ . Скорректировав экспериментально полученные зависимости с учетом действия примесей и отбросив не зависящую от температуры составляющую, можно выделить вклад собственно системы димеров. Аппроксимация этого вклада при низких температурах обычной для термоактивированных процессов функцией  $\exp(-\Delta/T)$  (цветная прямая) позволяет определить «ширину» спиновой щели  $\Delta$  — величину энергии, которая необходима для перехода из основного синглетного состояния в возбужденное триплетное. Она составила 34 К.

Сообщение о нахождении нового вещества со спиновой щелью вызвало живой интерес физиков самых различных специализаций. Факт существования спиновой щели в  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  был подтвержден исследованиями ядерного квадрупольного резонанса, ядерного магнитного резонанса, электронного спинового резонанса, теплоемкости, комбинационного рассеяния света (рамановского рассеяния), намагнитченности, неупругого рассеяния нейтронов. Полученные различными способами значения спиновой щели  $\Delta$  собраны в таблице. Как видим, в пределах точности каждого метода все они дают значения, близкие к 34 К.

Поясним вкратце, как, собственно, определялась спиновая щель в некоторых экспериментах.

При исследовании [5] ядерного квадрупольного резонанса на ядрах  $\text{Cu}$  в интервале температур 1.5–5 К измерялась скорость спин-решеточной релаксации  $1/\tau$ , которая фактически отражает плотность спиновых возбуждений в кристалле. Была

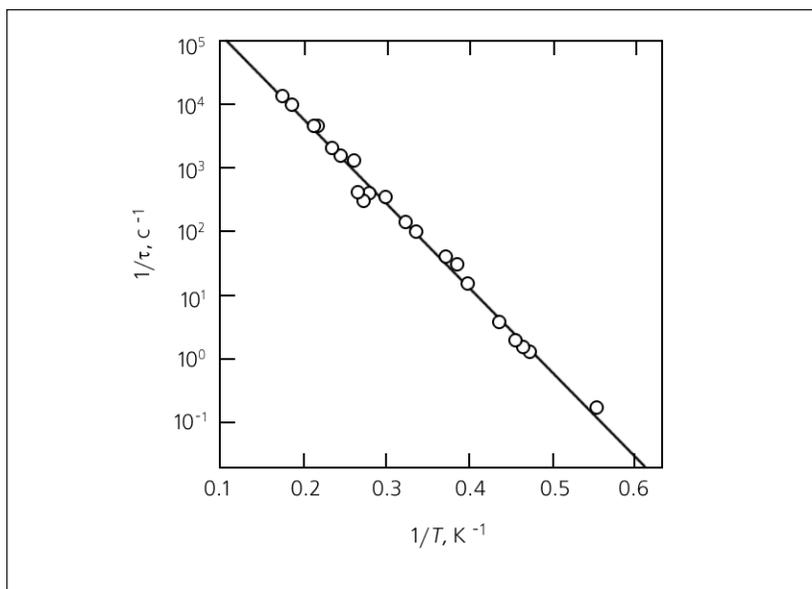


Рис. 4. Зависимость скорости спин-решеточной релаксации от температуры в  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ . Наклон прямой линии в полулогарифмических координатах определяет величину  $\Delta$ .

обнаружена экспоненциальная зависимость  $1/\tau \propto \exp(-\Delta/T)$ , см. рис.4. Это означает, что скорость спин-решеточной релаксации имеет активационный характер со щелью в спектре спиновых возбуждений; таким образом была получена величина  $\Delta = 30$  К.

Следующий пример — изменения теплоемкости [7] монокристалла  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  в интервале от 1.8 до 25 К в магнитном поле до 12 Тл. К сожалению, по-

ка не создана теория, описывающая эксперимент во всем исследованном температурном диапазоне, поэтому анализ экспериментальных данных проводился лишь для низких температур. В расчете использовалась модель изолированных димеров, согласно которой вклад магнитных возбуждений в теплоемкость при  $T \rightarrow 0$  может быть представлен в виде  $C \propto T^{-2} \exp(-\Delta/T)$ . Зависимость  $CT^2$  от  $1/T$  в полулогарифмичес-

Таблица

**Значения спиновой щели  $\Delta$ , полученные при измерениях различных физических величин**

Метод	$\Delta$
Измерение магнитной восприимчивости	34 К
Ядерный квадрупольный резонанс	30 К
Магнитный резонанс на ядрах $\text{Cu}$	35 К
Магнитный резонанс на ядрах $\text{B}$	36 К
Измерение теплоемкости	35 К
Измерение намагнитченности	31 К
Электронный спиновый резонанс	35 К
Рассеяние нейтронов	34 К
Рамановское рассеяние	34 К

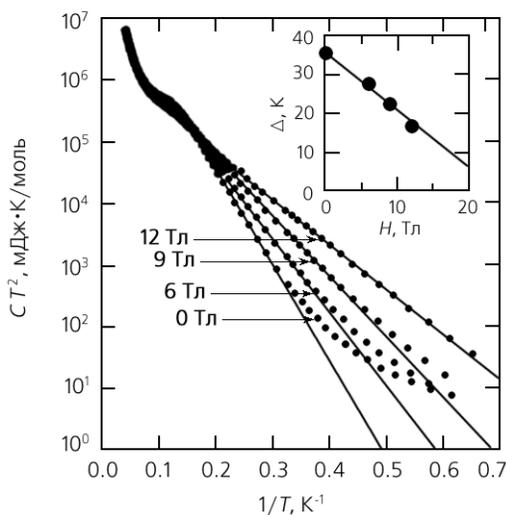


Рис.5. Температурные зависимости теплоемкости  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  при разных значениях магнитного поля. На вставке показана зависимость  $\Delta$  от величины магнитного поля.

ком масштабе показана на рис.5. Во всех магнитных полях при  $T > 5$  К эти зависимости имели линейный участок, указывая на наличие спиновой щели, величина которой меняется при переходе к другому значению магнитного поля. Подобное поведение совершенно естественно — в силу зеемановского расщепления энергетических уровней спиновых возбуждений. Экстраполяция зависимости спиновой щели от магнитного поля на нулевое поле приводит к значению  $\Delta = 35$  К.

В отличие от описанных выше методов, предполагающих использование каких-то моделей и формул для определения  $\Delta$ , неупругое рассеяние нейтронов [8], электронный спиновый резонанс [9] и рамановское рассеяние [10] позволяют непосредственно наблюдать переходы из основного синглетного в низколежащие возбужденные триплетные состояния (на соответствующих спектрах при этом появляются особенности). Энергетическое положение этих особенностей прямо дает величину спиновой щели. Все полученные таким образом зна-

чения оказались близки к 34 К (см. табл.).

### Теория впереди

Убедившись в существовании спиновой щели  $\Delta = 34$  К, необходимо понять, каким образом магнитная система  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  достигает синглетного основного состояния. В классической работе Шастри и Сазерленда для решетки, представленной на рис.2,в, было показано, что основным состоянием этой системы является спиновый синглет. В случае  $J' = 0$  (когда димеры не взаимодействуют) существование спиновых синглетов очевидно. Однако и при  $J' \neq 0$  реализуется спин-синглетное основное состояние — из-за фрустрации и компенсации взаимодействия между димерами.

Теоретики предложили много вариантов пространственного расположения спинов и степени их взаимодействия, допускающих точно димеризованное основное состояние. Среди них наиболее известной является, по-видимому, модель, построенная для зигзагообразной цепоч-

ки с отношением обменных интегралов между ближайшими и следующими за ними соседями 2:1 (см. рис.1,д). В течение долгого времени, однако, все эти модели существовали лишь на бумаге, а примеров их экспериментальной реализации все не было. Можно утверждать, что  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  — первый материал, в котором достигается скоррелированное димеризованное основное состояние.

Рассмотрим теперь роль взаимодействия между димерами  $J'$ , которое привносит спиновые фрустрации в систему, на примере температурной зависимости магнитной восприимчивости. Если пренебречь этим обменом ( $J' = 0$ ), то система упрощается до модели изолированных димеров со спином  $S = 1/2$ , простейшей для всех материалов со спиновой щелью (она применима к некоторым веществам, содержащим комплексы двухвалентной меди  $\text{Cu}^{2+}$ ). Но все попытки подогнать рассчитанную для такой модели кривую под экспериментальные данные к успеху не приводят. Если совместить положения максимума  $\chi_{\parallel}(T)$  по шкале температур ( $\sim 15$  К) в теории и в эксперименте, приходим, как видно из рис.3, к существенным расхождениям (теоретическая кривая показана там цветной сплошной линией). Если же исходить из совпадения теоретических и экспериментальных результатов при высоких температурах, то такая аппроксимация (цветная штриховая линия) тоже не дает удовлетворительного согласия. Не совпадают расчеты для модели изолированных димеров и с данными эксперимента по измерению теплоемкости при  $T > 5$  К (рис.5). Все эти факты указывают на то, что взаимодействием между димерами пренебрегать нельзя: димеры должны быть сильно скоррелированы в каждом слое и вся система должна быть сильно фрустрирована.

Недавно С.Мияхара и К.Уэда [11], разработав модель форми-

рования спиновой щели уже для скоррелированных димеров, смогли точно описать экспериментальные зависимости. Построенная в рамках этой модели фазовая диаграмма для сетки ортогональных димеров схематически изображена на рис.6. Если значение параметра  $J'/J$  мало, система вполне удовлетворительно представляется моделью изолированных димеров, когда в каждом димере спины скоррелированы, а в целом в системе магнитного порядка нет. Но с увеличением соотношения  $J'/J$  происходит фазовый переход первого рода в антиферромагнитно упорядоченное состояние — при  $(J'/J)_c \approx 0.69$ . Существование антиферромагнитного упорядочения при  $J'/J > (J'/J)_c$  ясно из того, что при  $J = 0$  магнитная подсистема сводится к простой квадратной решетке. Интересно, что в  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  отношение  $J'/J = 0.68$  — оно чуть-чуть не дотягивает до критической величины  $(J'/J)_c$ . Путем приложения химического давления (т.е. заменяя некоторые элементы на подобные элементы или на изотопы) можно надеяться перевести нашу систему в антиферромагнитное состояние, хотя все предпринятые до сих пор попытки успеха не принесли. Так, в эксперименте на порошках  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  с различным содержанием изотопов  $\text{O}^{16}$  и  $\text{O}^{18}$  все особенности на температурных и полевых зависимостях намагниченности сохранялись независимо от изотопного состава.

### С плато на плато

На рис.7 показаны кривые намагниченности, измеренные при температуре 1.5 К в импульсном поле до 42 Тл на монокристалле ( $\mathbf{H} \perp \mathbf{c}$ ) и ориентированном полем поликристалле ( $\mathbf{H} \parallel \mathbf{c}$ )  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  (напомним, что  $\mathbf{c}$  — вектор трансляции кристаллической решетки, направленный перпендикулярно плоскости димеров). Как и в случае

магнитной восприимчивости, различие между параллельной и перпендикулярной намагниченностью можно приписать анизотропии фактора спектроскопического расщепления. При увеличении магнитного поля  $H$  до  $\sim 20$  Тл триплетное возбужденное состояние «опускается» по энергии до основного спин-синглетного. После этого, с дальнейшим ростом поля, намагниченность  $M$  начинает нарастать, однако  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  демонстрирует ступеньки на зависимости  $M(H)$ , принципиально отличаясь поведением от классических систем, в которых намагниченность возрастает монотонно. Плато на зависимостях  $M(H)$  видны на уровне  $M$  в 1/8 и 1/4 доли полного магнитного момента ионов  $\text{Cu}^{2+}$ . Методом экстраполяции фазовые границы для плато 1/8 были определены как 30.1–31.7 Тл при  $\mathbf{H} \parallel \mathbf{c}$  и 26.7–28.6 Тл при  $\mathbf{H} \perp \mathbf{c}$ . Для плато 1/4 эти же величины составили 39.1–41.6

Тл при  $\mathbf{H} \parallel \mathbf{c}$  и 35.0–39.0 Тл при  $\mathbf{H} \perp \mathbf{c}$ . Такое поведение можно понять, если предположить, что при некоторых значениях магнитного поля разрушается синглетное состояние части димеров, причем части строго определенной: 1/8, 1/4 (хотя все димеры топологически эквивалентны, разрушается почему-то лишь некоторая их избранная порция). В этой части системы спиновая щель оказывается преодоленной (вместо синглетов имеем триплеты), и получается, что с увеличением магнитного поля система последовательно проходит через состояния со спиновой щелью и бесщелевые состояния. В областях плато  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  имеет энергетические зазоры основным и низшим возбужденным состояниями, перехода в последнее не происходит, и намагниченность меняться не может. Между плато система не имеет щели в спектре спиновых возбуждений и намагниченность возрастает

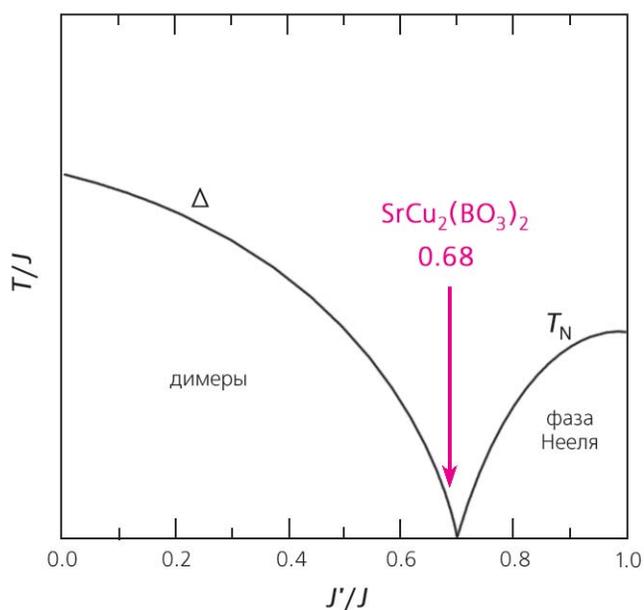


Рис.6. Теоретическая фазовая диаграмма, описывающая магнитные свойства сетки ортогональных димеров. При  $(J'/J)_c \approx 0.69$  происходит фазовый переход первого рода из димеризованного в антиферромагнитное состояние. Цветная стрелка указывает положение  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  на диаграмме.

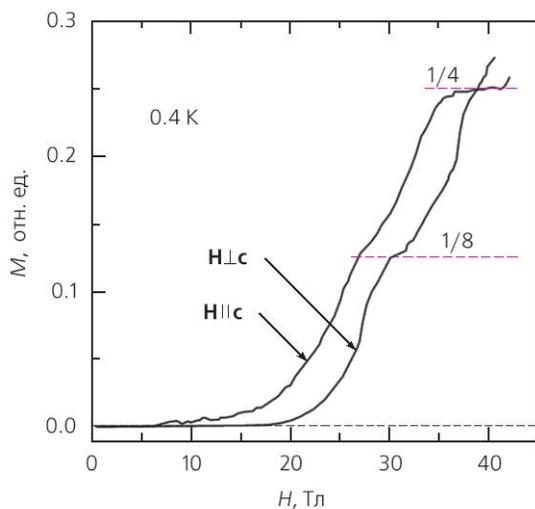


Рис.7. Зависимости намагниченности  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  от магнитного поля при его разной ориентации относительно кристалла. Штриховыми цветными линиями показаны плато «1/8» и «1/4». Значения намагниченности даны в величинах магнетона Бора в расчете на одну формульную единицу вещества.

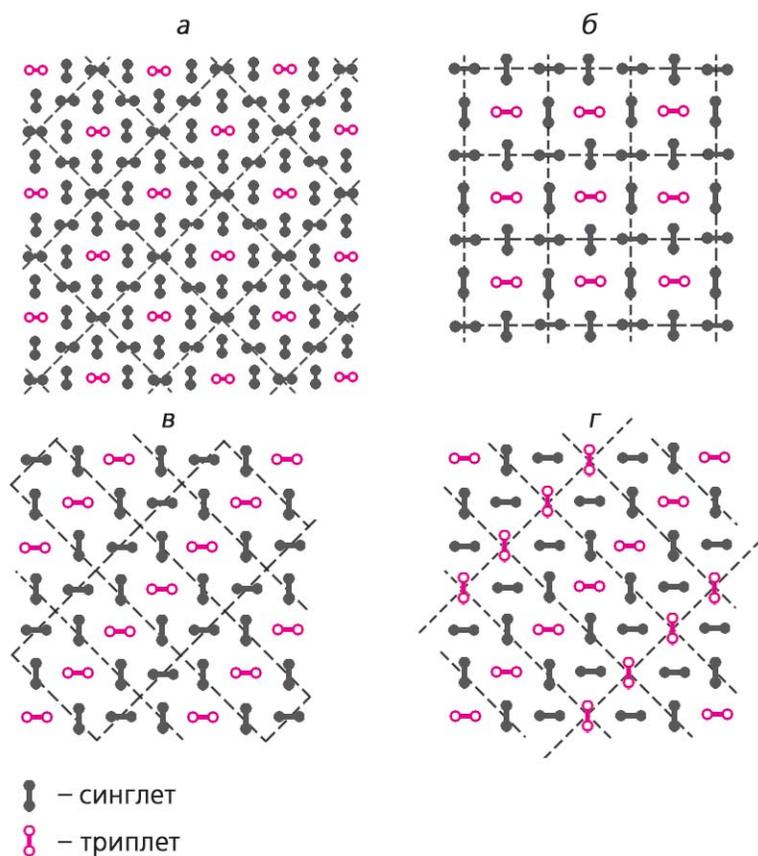


Рис.8. Расположение синглетных и триплетных (показаны цветом) состояний в структуре, соответствующее разрушению синглетных состояний в 1/8 (а), 1/4 (б, в) и 1/3 (г) части всех димеров (они становятся триплетами) и возникновению плато «1/8», «1/4», «1/3» (в, г — страйп-структуры).

тает монотонно, до тех пор, пока все имеющиеся в распоряжении триплеты не сориентируются по внешнему полю.

Поскольку плато появляются на уровнях  $1/n$  доли величины  $M$ , где  $n$  — число, явно обусловленное симметрией кристалла, естественно предположить, что возникающие разом триплетные возбуждения в решетке располагаются регулярно. Авторы [11] видят причину, по которой триплеты предпочитают упорядоченное состояние разупорядоченному, в чрезвычайно локализованном характере триплетных возбуждений, вытекающем из ортогональности ближайших друг к другу димеров. Теоретически переход триплетного возбуждения из одной кристаллографической позиции в другую в пределах одной плоскости разрешается лишь на уровне поправок шестого порядка в теории возмущений! Поскольку кристалл  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  обладает тетрагональной симметрией, необходимым условием для формирования упорядоченной структуры магнитных триплетов оказывается наличие квадратной магнитной элементарной ячейки, что и выполняется, как показано на рис.8,а и 8,б, для структур с «выводом из синглетного строя» 1/8 и 1/4 части ионов.

Совсем недавно независимые расчеты двух теоретических групп показали, что триплет-триплетные взаимодействия с соседями второго порядка (следующими за ближайшими) намного слабее взаимодействий с соседями третьего порядка. Это освобождает от необходимости иметь квадратную магнитную решетку для объяснения плато «1/4»: подходящая структура может быть сформирована магнитными полосками (страйпами), как показано на рис.8,в. В этом случае элементарная ячейка в плоскости представляет собой прямоугольный параллелепипед, в которой уже нет места соседям третьего порядка. Вдобавок еще одна страйп-структура была придумана для

плато «1/3», как показано на рис.8,з. Поскольку плато «1/3» не может появиться в квадратной магнитной решетке, наблюдение такого плато однозначно доказывает существование страйп-структур. Вскоре после этого предсказания эксперимент в импульсном поле до 60 Тл подтвердил наличие плато «1/3».

Из исследований физических свойств разнообразных

объектов при низких температурах становится все виднее глубокая общность процессов, ответственных за поведение сверхпроводников, низкоразмерных полупроводников и магнетиков. Так, плато на полевых зависимостях сопротивления наблюдаются в эпитаксиальных гетероструктурах и описываются на основе представлений о квантовом эффекте Холла [12]. Представления о страйп-

структурах как чередующихся полосках сверхпроводящей и нормальной фаз привлекают к объяснению свойств высокотемпературных сверхпроводников [13]. Уникальный металлооксид  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  близок и к тем, и к другим системам. Поэтому особенно ценно, что его основное состояние поддается точному расчету, столь редкому для квантовомеханических систем. ■

## Литература

1. Hase M., Terasaki I., Uchinokura K. // Phys. Rev. Lett. 1993. V.70. P.3651—3654.
2. Darriet J., Regnault J.P. // Solid State Commun. 1993. V.86. P.409—412.
3. Azuma M., Hiroi Z., Takano M. et al. // Phys. Rev. Lett. 1994. V.73. P.3463—3466.
4. Taniguchi S., Nishikawa T., Yasui Y. et al. // J. Phys. Soc. Jpn. 1995. V.64. P.2758—2761.
5. Kageyama H., Yoshimura K., Stern R. et al. // Phys. Rev. Lett. 1999. V.82. P.3168—3171.
6. Sbastry B.S., Sutherland B. // Physica. 1981. V.108B. P.1069—1070.
7. Kageyama H., Suzuki H., Nohara M. et al. // Physica B. 2000. V.281. P.667—668.
8. Smith R.W., Keszler D.A. // J. Solid State Chem. 1991. V.93. P.430—435.
9. Nojiri H., Kageyama H., Onizuka K. et al. // J. Phys. Soc. Jpn. 1999. V.68. P.2906—2909.
10. Lemmens P., Grove M., Fischer M. et al. // Phys. Rev. Lett. 2000. V.85. P.2605—2608.
11. Miyabara S., Yeda K. // Phys. Rev. Lett. 1999. V.82. P.3701—3704.
12. Пудалов В.М. Квантовый эффект Холла: глобальная картина явления // Природа. 1999. №2. С.16—28.
13. Tranquada J.M., Sternlieb B.J., Axe J.D. et al. // Nature. 1995. V.375. P.561—563.

### Они питались термитами

Палеоантропологи, изучающие останки гоминид, которые жили примерно 1.8 млн лет назад в Южной Африке, обычно считают их вегетарианцами: для охоты они были еще не приспособлены, а их крупные уплощенные зубы и мощные челюсти свидетельствуют об умении разжевывать грубую растительную пищу. Однако недавний анализ с использованием радиоактивных изотопов углерода указывает на такой состав пищи, который богат белками животного происхождения, т.е. мясом (Science. 2001. V.291. №5504. P.587. США).

В недавней совместной работе Ф.д'Эррико (F.d'Errico; Институт четвертичной геологии

и доисторического периода, Таланс, Франция) и антрополога Л.Блекуэлл (L.Blackwell; Витватерсрандский университет, Йоганнесбург, Южно-Африканская Республика) были подвергнуты микроскопическому анализу древнейшие костяные орудия труда из пещерных стоянок Сварткранс и Стеркфонтейн на территории ЮАР, известных находками останков австралопитека (*Australopithecus robustus*).

На костяных орудиях заметны характерные зарубки, нанесенные с некими определенными целями. При сопоставлении со следами, оставшимися от контакта с различными природными объектами или зубами животных, они разительно от них отличаются; не походят

они и на те, что могли возникнуть при выделке звериных шкур или при выкапывании из земли диких растений.

В наибольшей степени эти зарубки совпадают со следами на более поздних орудиях, которые предназначались для вскрытия ходов термитников, столь часто встречающихся в Южной Африке. Термиты богаты животными белками, которые так необходимы человеку, а его предкам они были куда более доступны, чем мясо зверей.

Видный палеоантрополог Дж.Ли-Торп (J.Lee-Thorp; Кейптаунский университет, ЮАР) тоже считает, что роль беспозвоночных в питании прачеловека до сих пор недооценивалась.

Рамейдаскен

# Гребневик бероз — гость или житель Черного моря?

С.М.Игнатъев,

кандидат биологических наук

Институт биологии южных морей Национальной академии наук Украины  
Севастополь

За последние десятилетия виды-вселенцы неоднократно меняли биоразнообразие, структуру и продуктивность экосистем Черного моря. Проникший в него в конце 70-х годов гребневик *Mnemiopsis ledyi* менее чем за 10 лет занял доминирующее положение в планктоне. Затем он появился в Азовском и Средиземном морях, где также сильно размножился. Из-за резкого снижения численности зоопланктона, которым питается и мнемипсис, и рыбы, стало намного меньше промысловых пелагических рыб, прежде всего тюльки и хамсы. Поэтому появившийся в 1997 г. и в массе развившийся в 1999 г. новый гребневик *Beroe ovata* [1], пожирающий мнемипсиса, вызвал надежду на улучшение состояния черноморской экосистемы. Для научного сообщества причерноморских стран бероз (его почему-то называют русским) стал своего рода гидробиологической сенсацией и возбудил к себе повышенный интерес.

Основанием для оптимистических прогнозов послужило значительное (в 10–15 раз) снижение обилия мнемипсиса. Пик его размножения совпал со вспышкой численности бероз, и этот новый вселенец уничтожил большую часть популяции

мнемипсиса. Презимовав, она обеспечила бы его воспроизводство в следующем году.

В сентябре 1999 г. бероз встречался уже не только по всему периметру Черного моря, но и в Азовском море. Есть сведения, что этот гребневик появился и в Каспийском море [2].

В 1999 г. черноморская популяция *B.ovata* состояла из особей размером от 14 до 120 мм, причем в сентябре преобладали гребневики длиной 20–40 мм (51%), а в октябре — 30–60 мм (57%). В планктоне имелись также яйца и личинки (до 10% от общей численности). Бероз в Черном море сохранял характерные для вида высокие плодовитость (от 2000 до 5000 яиц) и выживаемость личинок (95%). Количество этого гребневика осенью 1999 г. в районе Севастополя составляло в среднем 0.03 экз/м<sup>3</sup>, а биомасса — от 0.13 до 0.87 г/м<sup>3</sup> [3]. В других районах Черного моря бероз было еще больше [4].

Питался он другими гребневыми — мнемипсисом и плеруробрахией, а медуз аурелий и своих соплеменников, даже если и захватывал, то отрывивал неповрежденными. Бероз оказался весьма прожорливым естественным потребителем мнемипсиса. Уже в середине сентября численность последнего снизилась по сравнению с пре-

дыдущими годами почти на порядок и составила 3–6 экз/м<sup>2</sup> (биомасса в среднем была 0.5 г/м<sup>3</sup>). Произошли изменения и в размерной структуре популяции мнемипсиса — заметно преобладали крупные (больше 20 мм) особи, а мелких осталось совсем немного, так как молодь уничтожил бероз.

Его хищничество в популяции мнемипсиса вселяло надежду на то, что кормовой зоопланктон, выедаемый им до вселения бероз, размножится и снова пойдет «на стол» рыбам. К тому же сам новый чужоморец мог бы стать ценным кормом для потенциальных хищников, например мерланга, который охотно поедает бероз в аквариуме.

Естественно, что отслеживание дальнейшей судьбы нового вселенца стало приоритетным в наблюдениях за состоянием черноморской экосистемы, проводимых в нашем институте.

В 1999 г. высокая численность бероз сохранялась весь октябрь и большую часть ноября, а затем, вслед за похолоданием воды, резко снизилась. Последний раз его наблюдали в середине января 2000 г., после чего бероз исчез. Долгое время достоверная информация о находках этого вида в Черном море отсутствовала, несмотря на интенсивные поиски.

Мнемиопсиса тоже было очень мало всю зиму, весну и большую часть лета 2000 г., хотя температурные условия вполне благоприятствовали его размножению. Но в начале августа его численность стала нарастать столь стремительно, что к концу месяца достигла в среднем 420 экз/м<sup>2</sup>, причем 87% всей популяции составляла молодь размером менее 10 мм. Такого не было даже в благополучном для мнемиопсиса 1997 г. Менее чем за месяц он восстановил утраченные позиции, что не обещало для экосистемы Черного моря ничего хорошего. Казалось, все возвращается на круги своя.

В конце августа — начале сентября 2000 г. у берегов Крыма были штормы. После одного из них, 24 августа, у г.Саки на берегу были найдены несколько помятых, но вполне определяемых, экземпляров крупных (82—110 мм) бероз. Одиночных особей наблюдали 3 сентября аквалангисты в районе Карадага, а 18-го этого гребневика нашли в планктонных пробах, взятых возле Севастополя. Тогда же бероз был обнаружен в районе Керчи. После 20-х чисел сентября он опять стал массовым видом, его численность примерно сравнялась с показателями 1999 г., но размер особей в среднем оказался меньше. Основу популяции *Vovata* в сентябре—октябре составляли особи длиной до 40 мм, много было и мелких — менее 20 мм. Новое появление и интенсивное развитие бероз не замедлило сказаться на численности мнемиопсиса: менее чем за 20 дней она уменьшилась с нескольких сотен экземпляров под квадратным метром водной поверхности до двух-трех десят-

ков. А в конце октября на шести (из 11) станциях наблюдения в Севастопольской бухте мнемиопсис, ранее встречавшийся повсеместно, отсутствовал вообще.

В целом оптимистические предсказания оправдались: негативное влияние мнемиопсиса уменьшилось. По неопубликованным данным сотрудников нашего института, в 2000 г. в районе Севастополя кормового зоопланктона стало много больше, увеличилось и количество личинок рыб, которые им питаются. Освободившуюся от мнемиопсиса экологическую нишу заняла в настоящее время черноморская ушастая медуза аурелия (*Aurelia aurita*). По биомассе ее доля в составе желетелого макропланктона повысилась с 13 до 65%. Но не исключено все же, что численность планктоноядных рыб будет также расти по мере взросления личинок, выросших при недостатке корма. Вероятно, аналогичные изменения сохранятся и в 2001 г.

Однако новые факты из жизни бероз требуют разъяснения. Все находки этого вида в Черном и Азовском морях приходятся на конец августа — октябрь. Только однажды бероз был обнаружен в мае (1998) — в северо-западной части Черного моря [5]. Массовое же появление и в 1999 г., и в 2000-м было внезапным. Хотя бурное развитие *Vovata* в период пика размножения мнемиопсиса вполне объяснимо, остается неясным, где новый чужемец находится в остальное время. Может быть, какое-то количество его особей заносится из Средиземного моря, а в Черном он размножается на богатом корме и распростра-

няется там? Подобные факты известны. Мнемиопсис, например, попадает из Черного моря в Азовское, но круглый год в нем не живет из-за низких зимних температур. Однако не исключено, что бероз уже стал постоянным жителем Черного моря и часть его популяции сохраняется в недоступных для исследования водах. Появление в прибрежье сначала крупных и только потом мелких особей и личинок может свидетельствовать в пользу обеих версий. Чтобы понять, какая из них правильна, необходимо продолжать исследования на всей акватории Черного и Азовского морей. Нужно вести постоянные наблюдения за распространением вселенца, всесторонне изучить его биологию (для чего понадобятся и лабораторные эксперименты), установить, как именно он влияет на другие морские организмы. Эта обширнейшая работа невозможна без международной кооперации и... финансирования. Одним энтузиазмом ученых не обойдешься, требуется топливо для экспедиционных судов, приборы и реактивы для экспериментов и т.д. Новая серьезная проблема так и останется нерешенной, если на нее не обратят внимание государственные и местные власти.

*Автор выражает благодарность Е.Кочиной, своим коллегам по институту, всем лицам, сообщившим информацию о новом виде и оказавшим помощь в проведении исследований. В случае если читатели «Природы» видели бероз в иные сроки или в иных районах, чем указанные в статье, просьба сообщить в наш институт. ■*

## Литература

1. Игнатъев С.М., Зуев Г.В. Новый чужемец в Черном море // Природа. 2000. №5. С.26—29.
2. Шадрин Н.В. // Экология моря. 2000. Вып.51. С.72—78.
3. Финенко Г.А., Романова З.А., Аболмасова Г.И. // Экология моря. 2000. Вып.50. С.21—25.
4. Анохина Л.Л., Мусаева Э.И., Логинова Л.И., Шушкина Э.А. Концентрация гребневика берозе и других зоопланктонных вселенцев у северо-восточного побережья Черного моря // Виды-вселенцы в европейских морях России. Тез. докл. науч. семинара (г.Мурманск, 27—28 января 2000 г.). Мурманск, 2000. С.14—15.
5. Nastenka E.V., Polichuk L.M. // Доп. НАНУ. 1999. №11. С.159—161.

# Примеси в атмосфере континентальной России

Н.Ф.Еланский

Международные экологические соглашения требуют от нашей страны ограничений или полного прекращения производства и выброса в атмосферу озоноразрушающих соединений, парниковых газов, сажевых аэрозолей и других веществ [1]. Однако отсутствие в России действенной системы контроля за составом атмосферы не позволяет реально определить вклад страны в глобальное загрязнение. О его явно преувеличенных оценках свидетельствует результат экспериментов, которые мы называем «Тройка». Так по-русски звучит аббревиатура проекта «Transsiberian Observations in the Chemistry of the Atmosphere» (TROICA).

Зимой 1995 г., при встрече на одной из международных конференций директора нашего института Г.С.Голицына и известного немецкого химика, лауреата Нобелевской премии П.Крутцена (Институт химии Макса Планка), возникла идея провести измерения на пассажирском поезде состава атмосферы над континентальной Россией, где практически нет современных станций мониторинга. Рождение подвижной обсерватории, состоявшееся через девять месяцев после этого разговора, было



*Николай Филиппович Еланский, доктор физико-математических наук, заведующий отделом исследований состава атмосферы Института физики атмосферы им.А.М.Обухова РАН, член Международной комиссии по атмосферному озону. Круг научных интересов — малые примеси в атмосфере, методы определения их содержания, математическое моделирование процессов переноса примесей и фотохимических взаимодействий.*

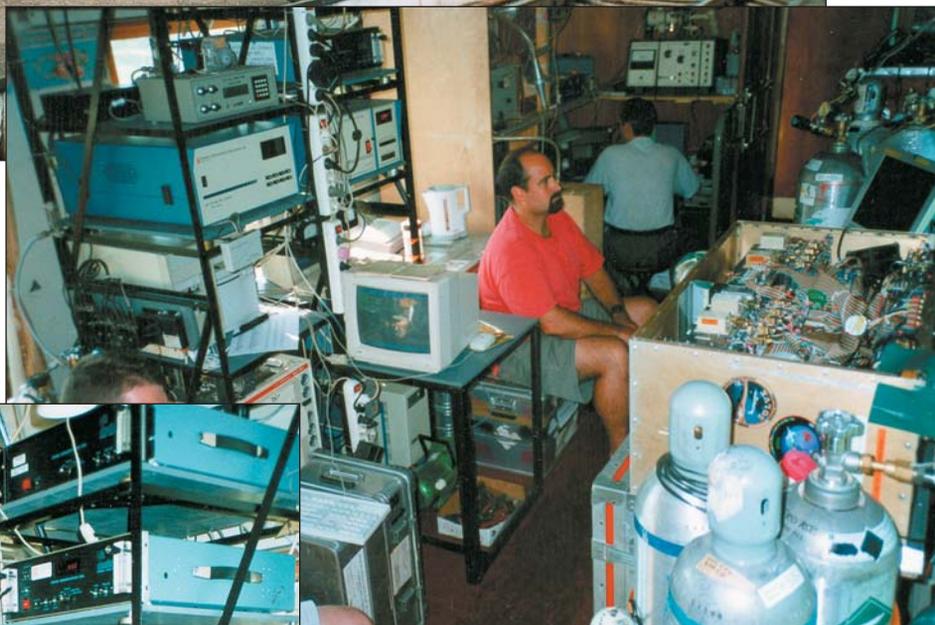
бы невозможно без поддержки Министерства путей сообщения, и в частности ВНИИ железнодорожного транспорта. Для лаборатории был выделен вагон, оборудованный с помощью немецких коллег современной аппаратурой, которая соответствует мировым стандартам. Начиная с 1995 г. ежегодно с помощью вагона-лаборатории измерялось содержание в атмосфере газовых и аэрозольных примесей, а также определялись радиационные и метеорологические характеристики вдоль Транссибирской магистрали (от Москвы до Владивостока или Хабаровска), а в 2000 г. между Мурманском и Кисловодском. Руководят работами уже упомянутые Голицын и Крутцен. В 2001 г. в экспе-

диции кроме специалистов нашего института и немецких коллег участвовала группа из НОАА и НАСА (США). В свободное от работы время вагон-лаборатория стоит на полигоне недалеко от Нижнего Новгорода. Пока обработаны материалы пяти экспедиций, о них и пойдет речь.

## Озон и оксиды азота

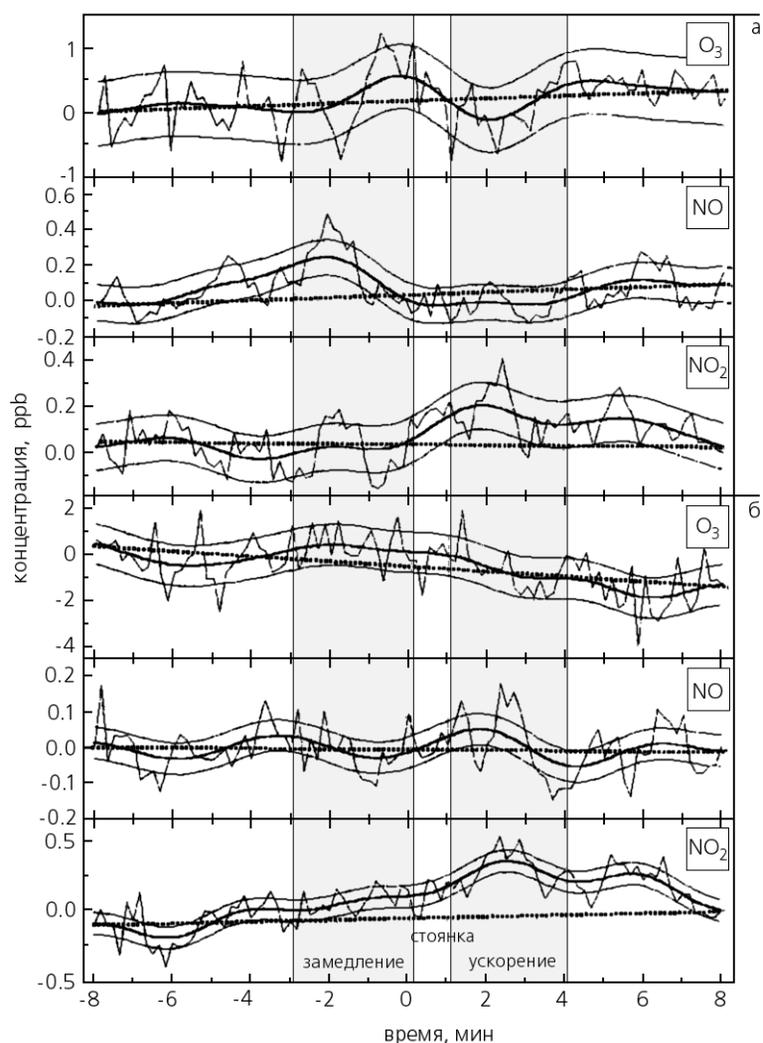
Среди наиболее важных примесей в составе атмосферного воздуха — озон. Нормальное его содержание в окружающем воздухе в наших широтах составляет 30–40 ppb (частей на миллиард). В концентрациях более 50 ppb озон оказывает угнетающее действие на растения, а в повы-

Вагон-лаборатория.  
Здесь и далее фото Н.Ф.Еланского



Оснащение экспедиции 1999 г. Слева — газоанализатор, справа — уникальный четырехканальный газовый хроматограф для измерения концентрации в воздухе парниковых газов и веществ, разрушающих озоновый слой. На заднем плане — группа приборов для измерения концентрации и микрофизических свойств аэрозолей.

Оператор непрерывно ведет дневник экспедиции.



Средние для дневных (а) и ночных (б) условий изменения концентрации O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub> в приземном воздухе (до, после и на стоянках) в местности, где отсутствуют источники примесей. Серым цветом показаны области торможения и разгона поезда.

Пейзажи по ходу поезда



шенных концентрациях (100 ppb и более) уже через час вызывает необратимые изменения в органах дыхания человека. Озон окисляет металлы, разрушает резину, каучук и лакокрасочные покрытия, поэтому по международной классификации этот газ входит в первую пятерку веществ, подлежащих постоянному контролю (вместе с NO, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> и аэрозолем) [2]. Кроме того, увеличение его концентрации в тропосфере способствует потеплению климата, поэтому он относится к парниковым газам.

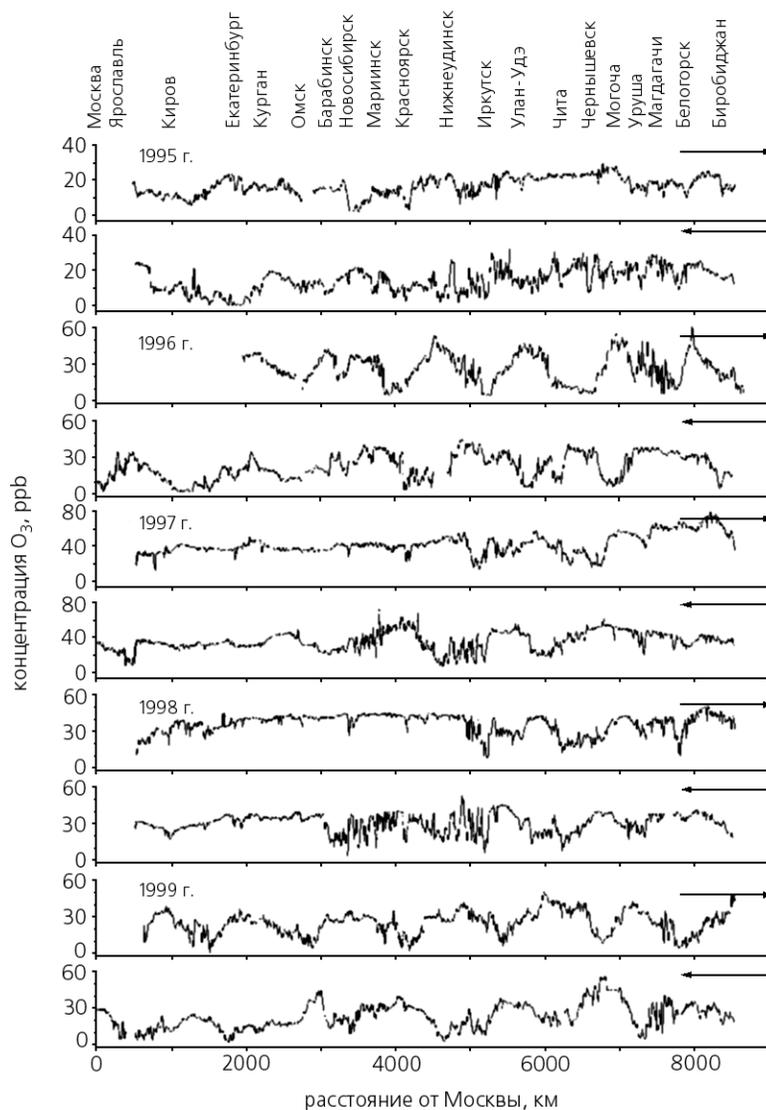
Наиболее значительный источник приземного озона — перенос из стратосферы в тропосферу и далее вниз, в нижний слой атмосферы. Из-за большой длительности этого процесса и активного перемешивания в средних широтах устанавливается более или менее однородное поле озона, нарушаемое не очень частыми вторжениями бедного этим газом тропического и полярного воздуха. Регистрируемые резкие изменения приземной концентрации озона, как правило, вызваны его разрушением в реакциях с оксидами азота. Эти процессы оставляют следы в виде зон с пониженным содержанием озона, по которым можно судить о загрязненности приземного слоя воздуха оксидами азота и оксидом углерода, а также метаном и летучими органическими соединениями (ЛОС). Поскольку источники оксидов азота — автотранспорт,

промышленные предприятия, электростанции, котельные и другие хозяйственные объекты, где сжигается органическое топливо, эти зоны связаны с промышленными районами и крупными населенными пунктами. Хотя пониженный уровень озона сам по себе не опасен для человека, связанное с этим снижение окислительной способности атмосферы приводит к увеличению времени жизни в загрязненном воздухе токсичных органических соединений, что имеет неблагоприятные последствия для живой природы.

Когда поезд проезжает населенные пункты, вблизи них концентрация озона почти всегда понижена. Однако при удалении от источника загрязнения вниз по шлейфу или если в районе источника воздушная масса из-за отсутствия ветра остается продолжительное время неподвижной, концентрация озона может превышать естественный фон.

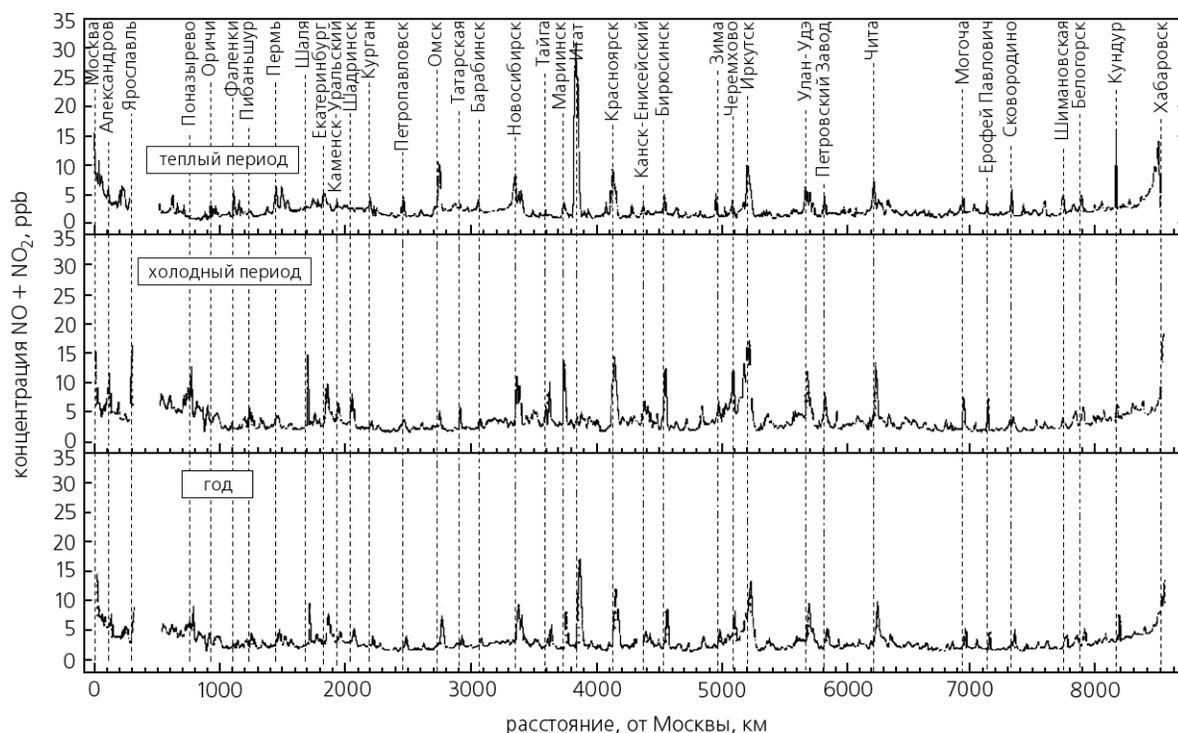
Фотохимическое образование озона в загрязненном воздухе — второй источник этого газа в приземном слое атмосферы. Чем выше солнечная освещенность, температура воздуха, содержание в воздухе CO, CH<sub>4</sub>, других летучих органических соединений, тем выше дневная концентрация озона.

Эксперименты «Тройка» показали, во-первых, что летом климатические условия (невысокая в целом освещенность, температура, ветровой режим и т.п.) и хи-



Осредненная на 10 км пути концентрация озона в приземном воздухе на маршруте от Хабаровска до Москвы по наблюдениям 1995—1999 гг.





Осредненная на 10 км пути концентрация  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO} + \text{NO}_2$ ) для теплого и холодного периодов, всего года. Наблюдения 1995—1999 гг.

мический состав основных загрязняющих компонентов ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ , метан и др.) не способствуют (за редким исключением) активной генерации озона в приземном воздухе на территории России. Дневные концентрации  $\text{O}_3$  находятся на уровне 40—50 ppb, что не вызывает опасений, хотя и превышает ПДК (30 ppb). Во-вторых, в пределах городов, и в частности на железнодорожных станциях,

концентрация озона почти всегда резко пониженная, окислительные свойства городского воздуха почти всегда ослаблены, что способствует продолжительному накоплению в воздухе ЛОС. В-третьих, уровень приземного озона в среднем на территории России возрастает в восточном направлении, например, в жаркое лето 1999 г. он увеличивается на 1.9 ppb на 1000 км. Причиной этого служит высокая освещен-

ность, характерная для антициклонических условий в Восточной Сибири, и шлейф промышленных выбросов из Европы и Западной Сибири, вдоль которого идет окисление летучей органики и фотохимическое образование озона.

Однако летом 1999 г. в Хабаровском крае были зарегистрированы очень высокие для России концентрации озона с рекордной величиной — 166 ppb



в Биробиджане. Практически во всех населенных пунктах Хабаровского края, расположенных вдоль железной дороги от Белогорска до Биробиджана, 2 и 3 июля 1999 г. (во время проезда вагона-лаборатории) отмечались смоговые ситуации с повышенным загрязнением населенных пунктов и активной, в течение светового дня, генерацией озона. Судя по направлению траекторий переноса, построенных Гидрометцентром РФ, сюда в течение продолжительного времени (не менее недели) поступал сильно загрязненный воздух из Японии.

Как показал химический анализ, концентрации многих ЛОС в районе Биробиджана достигали максимальных для 1999 г. значений, причем при движении на запад их содержание быстро снижалось. Повышенная интенсивность генерации озона объясняется сочетанием высокой освещенности, влажности, температуры воздуха, загрязненности органическими соединениями при достаточно высоком уровне оксида азота ( $\text{NO}$ ) в городском воздухе и слабых ветрах. Подобные погодные условия типичны для Приморского и Хабаровского краев в летнее время, значит, и образование высоких, чрезвычайно опасных для жителей этого региона концентраций озона также обычное явление.

Оксиды азота — ключевые элементы окислительных процессов в атмосфере. От уровня

их концентрации в атмосфере зависит содержание свободных радикалов и интенсивность удаления из загрязненного воздуха органических соединений. При высоком содержании  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  (несколько десятков  $\text{ppb}$ ) они оказывают прямое негативное влияние на человека и окружающую природную среду.

Источники оксидов азота — двигатели внутреннего сгорания автомобилей и локомотивов, промышленные предприятия, тепловые и электрические станции. Поэтому все значительные пики  $\text{NO}_x$  (сумма  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ ) приходится на крупные населенные пункты, промышленные и транспортные центры. Средняя на 10 км пути концентрация не достигает предельно допустимых значений (45  $\text{ppb}$  по  $\text{NO}_2$ ), в то время как локальные значения часто превышают ПДК. Это говорит об активном рассеивании примесей в атмосфере и их быстром разрушении. В среднем области повышенных значений  $\text{NO}_x$ , связанные с городами, распространяются не более чем на несколько десятков километров. Однако в случаях, когда ветровой шлейф точно вытянут вдоль железной дороги, влияние городских загрязнений иногда прослеживается на расстояние до 300—400 км. Так, при скорости ветра 5 м/с длина шлейфа от Новосибирска 19 ноября 1995 г. достигала 350 км. В натекающем на город потоке концентрация  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  находилась на фоно-

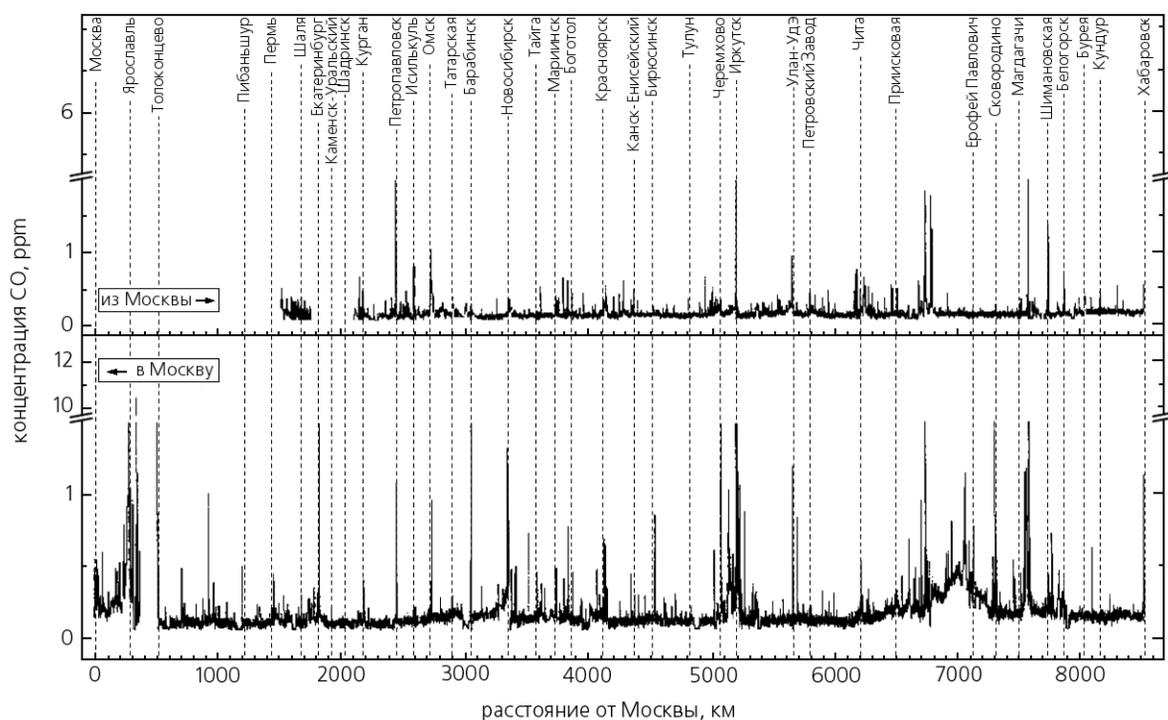
вом уровне (1  $\text{ppb}$  и менее). В самом городе содержание  $\text{NO}$  достигало 130  $\text{ppb}$ . Ниже по ветру высокое содержание  $\text{NO}$  привело к полному разрушению озона и соответственно образованию большого количества  $\text{NO}_2$ , средняя концентрация которого на большом протяжении достигала сравнимого с ПДК уровня в 20—25  $\text{ppb}$ . Важно отметить, что содержание токсичного  $\text{NO}_2$  в пределах города было ниже, чем в его шлейфах.

Самые загрязненные оксиды азота регионы — европейская территория страны от Москвы до Кирова, район Иркутска—Братска и Хабаровский край. Очевидно, эмиссии на востоке страны меньше, чем в западных районах, но из-за очень частых температурных инверсий при резко континентальном климате здесь складываются благоприятные условия для накопления загрязнений в тонком приземном слое воздуха, что приводит к очень высоким концентрациям  $\text{NO}_x$ . Возможно, на содержании оксидов азота сказывается также перенос загрязнений из Японии, когда скорость этого переноса значительна.

## Оксид углерода, метан и ЛОС

Оксид углерода играет важную роль в атмосфере, его окисление ведет к образованию озона. Естественным путем  $\text{CO}$  в ос-





Осредненная на 10 км пути концентрация CO по наблюдениям с 26 июня по 13 июля 1999 г.

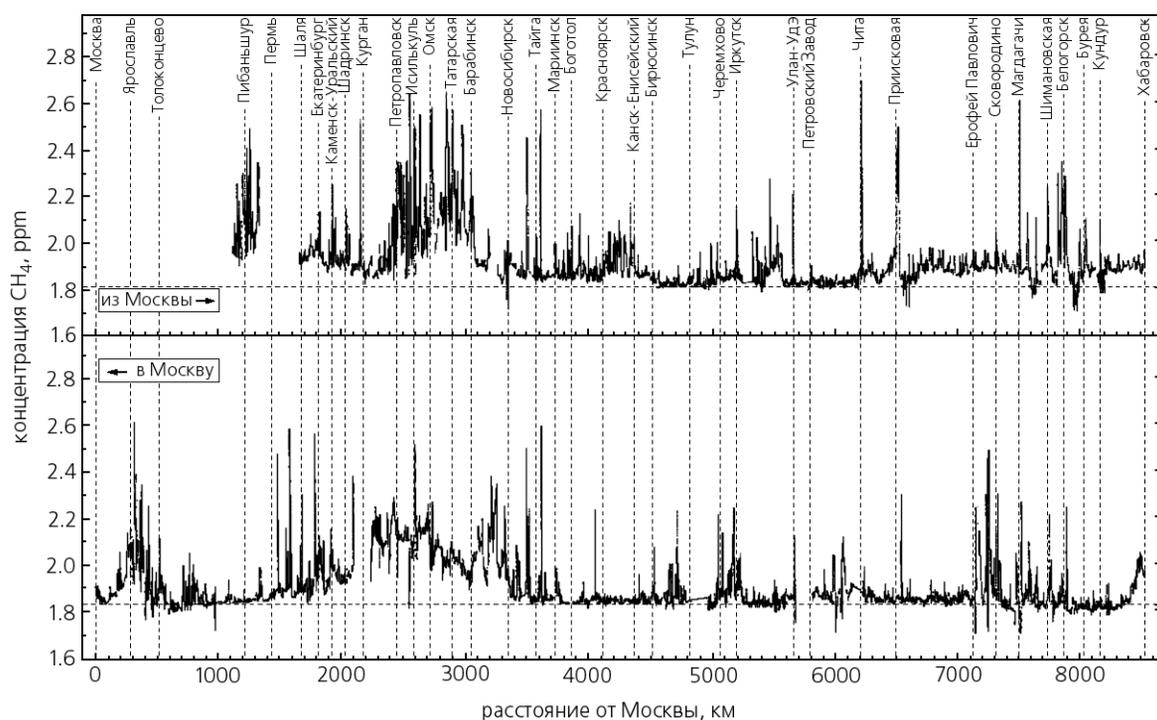
новном образуется в атмосфере в результате окисления метана. К наиболее значимым его антропогенным источникам относятся выбросы транспорта (в том числе дизельными локомотивами), тепловых электростанций, промышленных предприятий. Вблизи них могут наблюдаться высокие концентрации CO, превышающие 2.4 ppm, которые опасны для здоровья человека и живой природы.

Наиболее загрязнены оксидом углерода европейская часть страны от Москвы до Кирова, ангаро-иркутский участок дороги и Восточная Сибирь. В первых двух регионах загрязнение происходит из-за влияния транспорта и промышленности, а в последнем — из-за регулярных выносов загрязненного воздуха с территории Китая и в результате местных лесных пожаров (в отличие от оксидов

азота CO имеет продолжительное время жизни — около месяца — и потому не успевает разрушиться в процессе переноса).

Осредненные на 10 км пути значения CO в основном не превышают и 1 ppm (частей на миллион) для всех экспедиций, т.е. концентрации, равные ПДК (3.0 ppm), не распространяются на большие области. Локальные высокие значения, превышающие ПДК, в основном связаны





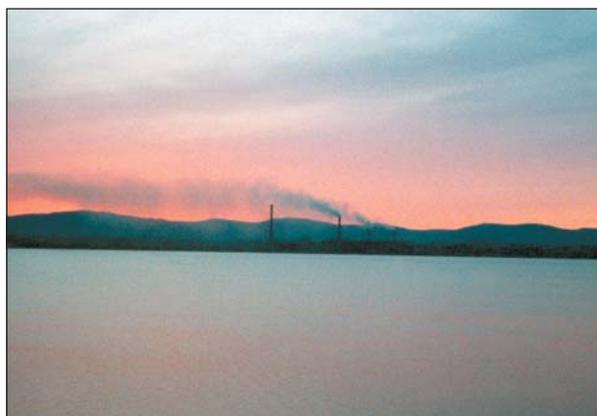
Концентрация метана в приземном воздухе между Москвой и Хабаровском по наблюдениям в июне—июле 1999 г.

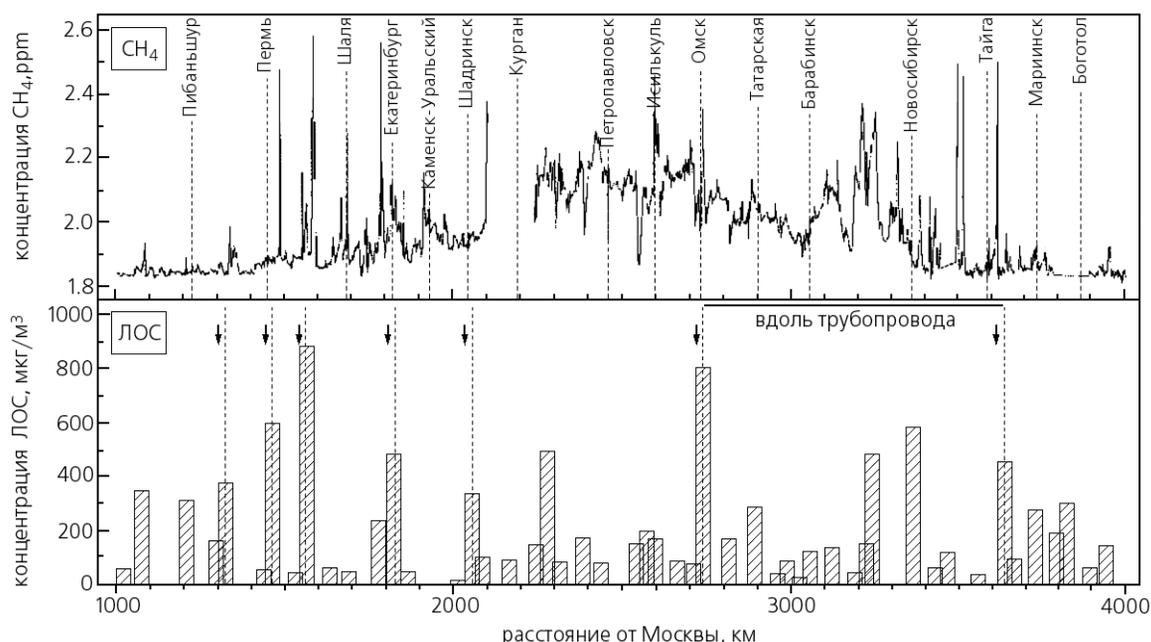
с работой дизельных локомотивов на железнодорожных станциях и участках дороги с тепловозной тягой. Так, в Иркутске содержание  $\text{CO}$  достигало 8 ррм, а в Костроме — 12 ррм (влияние Костромской ГРЭС), что соответственно в 2.5 и 4 раза превышает значение ПДК. В обоих случаях повышение концентрации  $\text{CO}$  — результат его мощного накопления в районе железнодорожного

вокзала и товарных станций, где к городским загрязнениям добавляются выбросы дизельных локомотивов.

Метан не относится к наиболее опасным для здоровья человека веществам, но загрязнение им атмосферного воздуха может иметь два важных последствия: в глобальном плане — потепление климата, в локальном — угроза взрыва при высоких концентрациях. Влияние источни-

ков метана хорошо прослеживается на трансконтинентальных профилях  $\text{CH}_4$ , полученных в июне—июле 1999 г. На среднем фоне 1.8—1.9 ррм наблюдаются локальные всплески концентрации до 2.2—2.6 ррм и более. Обширная область высоких значений  $\text{CH}_4$  (до 2.2 ррм) располагается на территории Западной Сибири, вторая, подобная, но меньшая по размерам, — к северу от Москвы близ Ярослав-





Содержание  $\text{CH}_4$  и летучих органических соединений (ЛОС). Места прохождения магистральных газопроводов показаны стрелками.

ля—Костромы. Локальные повышения концентрации, приуроченные к городам и населенным пунктам, наблюдались летом 1996 г. Они связаны с выбросами метана из системы газоснабжения, очистных сооружений и мусорных свалок.

Интенсивные летом биогенные эмиссии из болот и увлажненных почв тоже дают локальные увеличения концентрации, заметные, как правило, только ночью, когда накопление  $\text{CH}_4$  под температурной инверсией продолжается несколько часов. Протяженные области высоких его значений в Западной Сибири и на европейской части страны связаны как с воздействием естественных источников, так и с утечками в системе добычи и транспортировки газа. Их размеры несколько варьируют из-за разной направленности воздушных потоков. Таким образом, наиболее высокие концентрации  $\text{CH}_4$  формируются в зоне биогенных и антропогенных (добыча газа и угля) эмиссий в ночных условиях или прино-

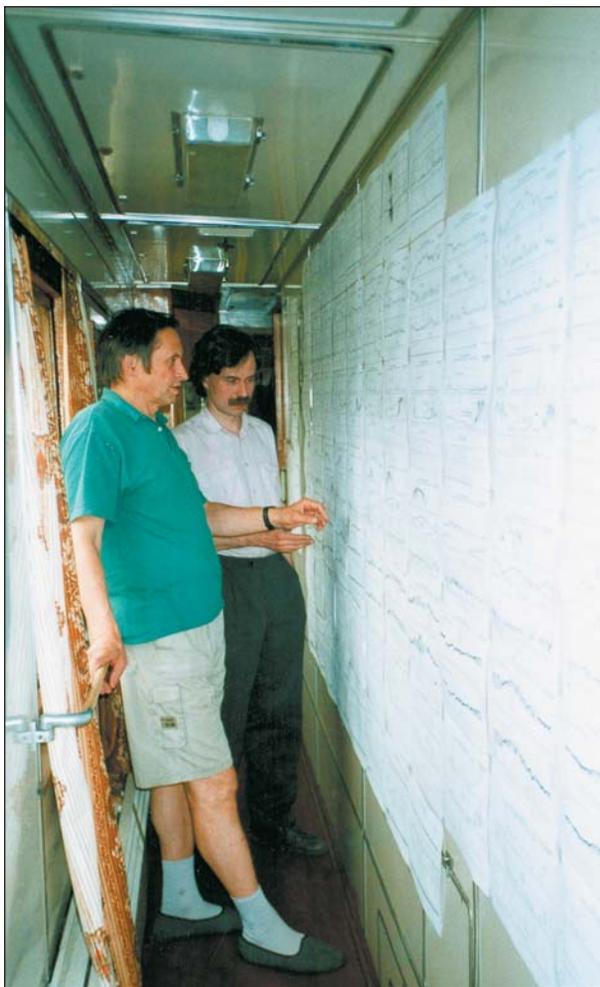
сятся с воздушными массами из района добычи и переработки углеводородного топлива, а также с территории Китая, где источником метана служат рисовые плантации. Некоторое влияние на распределение этого газа в летних экспериментах «Тройка» 1996 и 1999 гг. оказывали лесные и степные пожары.

Практически все всплески концентрации метана ( $\text{CH}_4$ ) приходится на места, где находятся газопроводы. Конечно, в крупных городах источником  $\text{CH}_4$  могут быть не только утечки из магистральных газопроводов, но также из системы подачи газа к промышленным предприятиям и коммунальным службам. Поэтому особое внимание обращает на себя увеличение концентрации метана в чистой местности, где эмиссии из газопроводов видны наиболее отчетливо. Это прежде всего участок дороги Кунгур—Шамары (Пермская обл.) и участок Барабинск—Новосибирск, где повышенное в результате накопления в безветренных инверсионных услови-

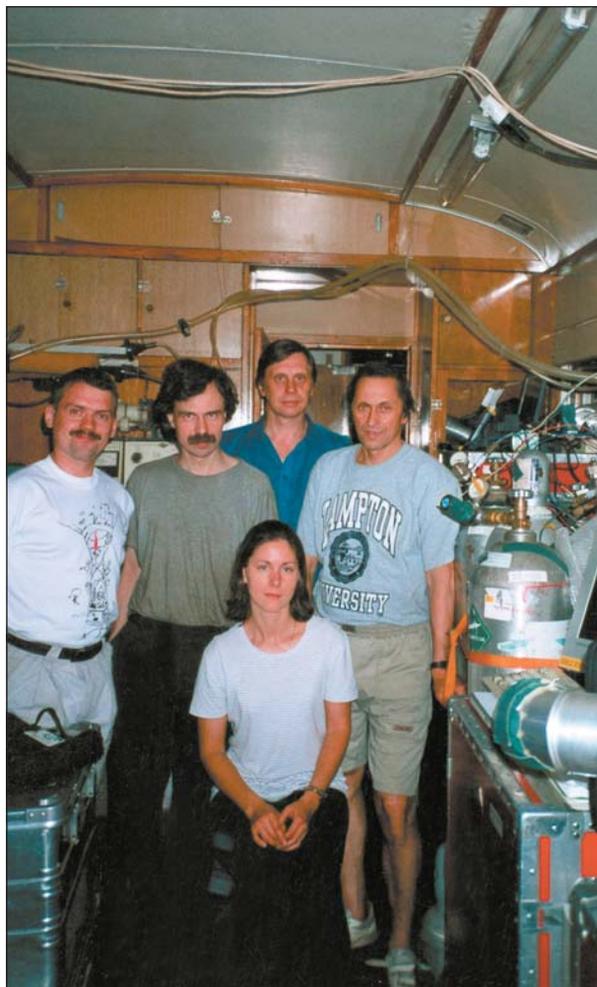
ях содержание  $\text{CH}_4$  наблюдалось на большом протяжении. На последнем участке в январе 2001 г. произошел разрыв трубы и мощный выброс метана.

Летучие органические соединения попадают в атмосферу при производстве синтетических веществ, сжигании различных видов топлива, хранении и переработке отходов и т.п. Многие из них обладают токсичными, мутагенными и канцерогенными свойствами и при значительных концентрациях оказывают прямое неблагоприятное воздействие на живую природу и человека.

Несмотря на большую изменчивость содержания органических примесей вдоль маршрута, регистрировавшихся в разных экспедициях, можно выделить несколько участков дороги, где их концентрация всегда держится на очень высоком уровне. Самое загрязненное место — район железнодорожной станции Хабаровск, в котором содержание, например, бутана в 50–70 раз превышает из-



Результаты измерений ежедневно вывешиваются на стене вагона-лаборатории.



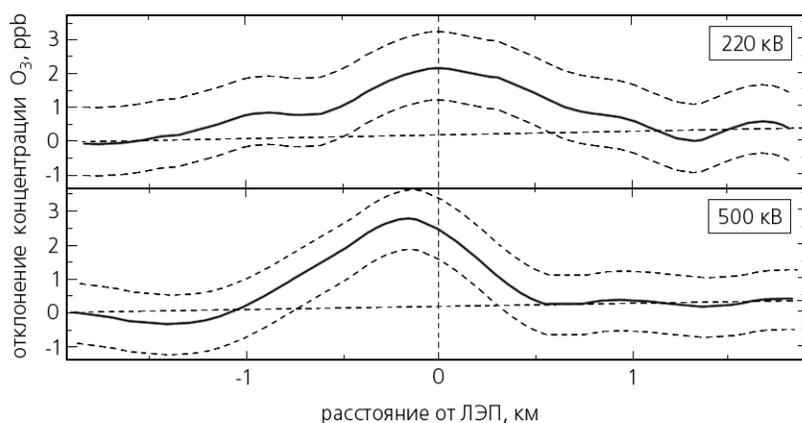
Группа ветеранов «Тройки»: Е.Оберландер из Института химии Макса Планка (сидит), стоят (слева направо) — А.Д.Лыков, И.Б.Беликов, Ю.И.Обвинцев и Н.Ф.Еланский.

меренные величины в других районах. Очень высокие концентрации ЛОС отмечаются в Ярославле, испытывающем воздействие мощного нефтехимического комбината. Несколько меньшие значения — в Новосибирске и его окрестностях, где вдоль железной дороги проходит газопровод и, вероятно, сказываются утечки газа, а также в Вятке и ее окрестностях, где сосредоточены предприятия химической промышленности. Высокая концентрация ЛОС, как и метана, регулярно регистрируется на малом участке пути в районе Кунгур—Шамары, в месте пересечения с дорогой трех

газопроводов, что ничем, кроме как утечками природного газа невозможно объяснить. В зимних условиях ЛОС и метан скапливаются в долинах Восточной Сибири, где их источником становится транспорт, утечки бытового газа, промышленность и добывающие предприятия (Чита, Нерчинск, Шилка, Зилово). Несколько меньшие, но также значительные концентрации отмечаются на отдельных участках дороги от Новосибирска до Иркутска, где на сильные местные загрязнения (Мариинск, Нижнеудинск, Бирюсинск) часто накладывается шлейф загрязнений от Кузнецкого промыш-

ленного района. Наиболее протяженная область, в которой всегда регистрируются повышенные концентрации ЛОС, и в частности бутана, — юг Западной Сибири от Шадринска до Новосибирска. Явно сказывается влияние переноса из мест добычи и переработки нефти, а также воздействие местных источников — нефтеперерабатывающих предприятий Омска и, видимо, газопровода Омск—Новосибирск—Тайга.

Любопытно, что предварительные результаты, полученные в летней экспедиции 2001 г., показывают значительное снижение по сравнению



Среднее отклонение концентрации озона от фонового уровня при пересечении ЛЭП напряжением 220 и 500 кВ. Пунктирные линии показывают величину удвоенного среднеквадратичного отклонения.

с данными наших предыдущих работ концентрации метана и ЛОС в местах пересечения газопроводов и железной дороги. Возможно, это связано с проведением ремонтных работ и устранением утечек.

На Транссибирской железнодорожной магистрали (от Москвы до Владивостока) располагается несколько десятков городов. Непрерывно работающая измерительная аппаратура вагона-лаборатории дала подробную информацию об изменении состава атмосферного воздуха, радиационного и метеорологического режимов при пересечении поездом.

Были определены содержания основных загрязняющих примесей (озона, оксидов азота, оксида углерода и метана) при проезде городов, разбитых на три группы: с населением до 100 тыс. (51 город), от 100 до 500 тыс. (13 городов) и свыше 500 тыс. (17 городов). Эти данные — осредненные по всем экспедициям 1996—1999 гг. концентрации примесей на железнодорожных станциях, в пределах самих населенных пунктов и в их пригородах.

Почти повсеместно железнодорожные станции — наиболее загрязненные территории в городах и крупных поселках го-

родского типа, поскольку они обычно расположены в центре и подвержены влиянию транспортных, промышленных и бытовых загрязнений при любом направлении ветра. Дополнительное загрязнение на железной дороге привносит работа дизельных локомотивов и испарения нефтепродуктов, а также выдувание из вагонов перевозимых сыпучих грузов — угля, руды, цемента и т.д. В транспортных узлах загрязнения могут в несколько раз превышать ПДК — содержание NO и NO<sub>2</sub> достигает 800 ppb, CO — 6000 ppb, сажевого аэрозоля — 10 мкг/м<sup>3</sup> (при фоновых значениях 0.2 мкг/м<sup>3</sup>).

Дизельные двигатели выбрасывают в окружающий воздух большое количество сажевого и субмикронного аэрозоля, оксидов азота и углерода, летучих органических соединений. Именно этими выбросами определяется качество воздуха на многих станциях, особенно крупных транспортных узлах с тепловозной тягой. Например, пассажирская и товарная станции г.Хабаровска из-за интенсивного использования тепловозов формируют качество воздуха не только на их территории, но и в центральной части города.

## Шлейф локомотива

В экспедициях измерялись содержания загрязняющих примесей при тепловозной тяге. Вагон-лаборатория в этом случае располагался либо в голове состава, непосредственно за тепловозом, либо в хвосте поезда. Забор проб проводился на уровне окна вагона, т.е. анализировался воздух, который попадал внутрь вагона.

В начале движения, когда вагон оказывается в шлейфе загрязненного локомотивом воздуха, резко снижается концентрация озона из-за его разрушения оксидом азота, содержание которого возрастает от 0.2 в чистом воздухе до 700 ppb. Концентрация диоксида азота (NO<sub>2</sub>) существенно меньше (не превышает 24 ppb), поскольку его содержание в выхлопных газах мало, а для его образования при взаимодействии NO с O<sub>3</sub> не хватает озона. По ходу движения за локомотивом регистрировались значения NO, достигающие 1500 ppb. Также резко возрастала концентрация CO — до 9.0 ppm. По этим двум параметрам существенно превышались локальные ПДК. Очевидно, превышались нормы и для многих летучих органических соединений, но используемые сорбенты и методы отбора не были рассчитаны на очень высокие концентрации. Поэтому проведенные измерения концентраций ЛОС показали только, что их уровень возрастает не менее чем в несколько сотен раз.

Концентрация субмикронных частиц аэрозоля в воздухе при движении лаборатории за локомотивом выросла с 20 мкг/м<sup>3</sup> (фоновые условия) до 20 000 мкг/м<sup>3</sup>, т.е. в 1000 раз. Такие уровни содержания аэрозоля значительно превосходят ПДК.

При движении вагона-лаборатории в хвосте поезда, состоящего из 15 пассажирских вагонов, влияние выбросов локомотива на концентрацию определяемых веществ также велико. Так, содержание CO в конце со-

става колеблется на уровне от 2 до 5 ppb, а максимальные значения несколько превышают ПДК.

При тепловозной тяге концентрация сажевого аэрозоля возрастает в 100 раз (до 11 мкг/м<sup>3</sup>), хотя и не превышает ПДК (50 мкг/м<sup>3</sup>). Содержание субмикронного аэрозоля достигает 1000 мкг/м<sup>3</sup>. В хвосте состава концентрация ЛОС настолько велика, что используемые приборы, как и при положении вагона-лаборатории в голове состава, не включались из-за опасности их поломки. Содержание оксида азота NO достигает 400 ppb, что больше ПДК, в хвосте поезда превышает ПДК и концентрация диоксида азота NO<sub>2</sub>. Таким образом, при использовании тепловозной тяги концентрация загрязняющих примесей — оксида азота NO, оксида углерода CO и субмикронного аэрозоля — вдоль всего пассажирского состава превышает значения ПДК. Причем в начале состава (а для субмикронного аэрозоля и в его конце) — многократно. Концентрация диоксида азота NO<sub>2</sub>, образующегося при взаимодействии NO и озона, нарастает вдоль состава и к концу его тоже превышает ПДК. Велико также содержание сажи и летучих органических соединений — оно на несколько порядков больше, чем при электровозной тяге.

Все эти примеси при открытых окнах или вентиляции попадают внутрь вагонов и оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье людей.

В экспериментах отработывалась методика оценки влияния высоковольтных линий электропередачи (ЛЭП) разного напряжения на качество воздуха. Всего на маршруте Москва—Хабаровск их было зарегистрировано 500.

Оказалось, что концентрация озона в местах влияния ЛЭП 220 кВ выше на  $2.0 \pm 0.5$  ppb (7% от среднего его уровня), для ЛЭП 500 кВ —  $2.8 \pm 0.5$  ppb (10% от среднего уровня). В целом эти отклонения невелики и лежат в пределах естественной изменчивости озона, однако при его высоком уровне, например в летнюю жаркую погоду в загрязненном воздухе, дополнительное увеличение его концентрации на 5—15% может оказывать крайне неблагоприятное действие на человека и окружающую среду. Кроме того, в коронном разряде вблизи проводов генерируются активные радикалы (O и OH), что приводит к разрушению в приземном воздухе многих органических соединений, в том числе токсичных веществ. В нашем институте были проведены исследования таких процессов с помощью численной фотохимической модели, учитывающей практически все основные реакции с участием углеводородов и их производных. Полученные результаты показали, что под ЛЭП и в воздухе, прошедшем через них, резко активизируются окислительные процессы, происходит рост содержания пероксирадикалов, оксидов азота, но зато снижается содержание многих алканов, алкенов, ароматических углеводородов и других веществ. Это говорит о том, что ЛЭП в российских условиях (в городах, вблизи предприятий) могут играть роль очистных сооружений. Правда, разрушая хлорорганические соединения, они могут стимулировать образование в воздухе таких токсичных соединений, как моно- и трихлоруксусная кислоты, являющиеся основой пестицидов.

\* \* \*

Итак, можно подвести некоторые итоги. Новая методология контроля за составом атмосферы на базе подвижной лаборатории оказалось достаточно эффективной. Наблюдения содержания примесей вдоль шлейфов городов и других объектов показали важное преимущество вагона-лаборатории перед всеми другими средствами контроля. Например, оборудованные приборами автомобили не могут вести точных измерений на большой территории, не подвергаясь влиянию загрязнений от «собратьев» и собственных выхлопов.

Проведенные в экспедициях работы позволили получить важные сведения о состоянии воздушной среды над территорией России. Вклад нашей страны в глобальное загрязнение не столь велик, как считалось ранее. Территория России, наоборот, очищает поступающее извне загрязнение.

Подвижная лаборатория в будущем может играть важную роль в ходе подготовки и реализации международных экологических соглашений, особенно если с ее помощью удастся провести исследования в других странах Европы и Азии (такие планы существуют). Дело в том, что для России — это не только единственная возможность связать разрозненные наблюдения и дать целостную картину состояния атмосферы над обширной территорией страны. Подвижная лаборатория может связать национальные сети мониторинга разных стран, калибровать космические системы слежения за составом атмосферы и стать арбитром в международных спорах о квотах загрязнения воздуха. ■

## Литература

1. Еланский Н.Ф. Международные конвенции по атмосфере и климату и интересы России // Природа. 1999. №3. С.3—11.
2. Александров ЭЛ., Израэль Ю.А., Кароль ИЛ., Хргиан АХ. Озонный щит Земли и его изменения. СПб., 1992.

# Поэзия, застывшая в дереве

В.Н.Комаров,

*кандидат геолого-минералогических наук*

*Московская государственная геологоразведочная академия*

В незапамятные времена уходят корни замечательного искусства — резьбы по дереву, наиболее распространенному и доступному материалу, легко поддающемуся обработке даже самыми примитивными инструментами. Я уже давно занимаюсь резьбой по дереву и в силу специфики профессиональной деятельности имею достаточно большой опыт поиска и сбора объектов для последующей обработки в совершенно разных по ландшафтным условиям регионах — Восточном Саяне, Туве, Якутии, Закавказье, Урале и др. Тем не менее могу отметить, что нигде больше не находил таких изысканных природных творений, как в Горном Крыму.

В течение многих лет мне повезло принимать участие в проведении крымской учебной практики для студентов-геологов. Практика проходит в живописнейших местах восточной части Бахчисарайского района, в окрестностях с.Прохладное. Значительную часть территории слагают своеобразные, сложнодислоцированные отложения так называемой таврической серии, характеризующейся многократным ритмичным чередованием небольших по мощности слоев песча-

ников, алевролитов и аргиллитов. Эти породы отличаются различной прочностью и соответственно неодинаковой степенью податливости к разрушению. Все отмеченные особенности приводят к тому, что корни произрастающих здесь кустарниковых растений приобретают удивительно причудливые, а подчас и просто загадочные формы. В некоторых случаях мягкие аргиллиты, разрушаясь, полностью освобождают из своего плена достигающие большой длины корни. Их поиск существенно облегчают глубокие овраги, широко развитые в этих местах. Не следует думать, что поиск материала, представляющего интерес для последующей обработки (а используются только засохшие и полусохшие растения), — легкое занятие. Зачастую результатом непрерывных пятишестичасовых изысканий (очень непростых, кстати говоря, с точки зрения затрат физического труда) оказываются всего два-три экземпляра. Найденные «полуфабрикаты» могут быть красивы сами по себе, однако становятся несравненно более интересными после снятия коры.

Методика обработки незатейлива, но я пришел к ней не сразу, пробуя другие, оказавшиеся менее эффективными способы. Наиболее удобно «варить» заготовки, периодически (через каждые

2—3 ч) вынимая их из кипящей воды, что позволяет небольшими порциями снимать ножом кору, совершенно не повреждая сердцевину. Очищенные корни в зависимости от длительности кипячения приобретают различные, но в целом очень мягкие коричневатые оттенки, а также обнаруживают глубокий и выразительный продольный рельеф. Такой естественный узор, возвышающийся над общим фоном, при изменении освещения создает непрерывно меняющуюся, как в калейдоскопе, игру светотени. Более темный фон, который наблюдается в понижениях, активно контрастирует со светлыми выпуклыми элементами.

Крымская древесина обладает почти идеальными для работы качествами. Она довольно мягкая, прекрасно обрабатывается, но в то же время надежно сохраняет придаваемую форму и отлично полируется, при высыхании может растрескиваться, однако трещины создают лишь дополнительный, необычный резной орнамент. Особенно интересно смотрятся трещинки, радиально расходящиеся на поперечных срезах. После покрытия бесцветным лаком резьба проявляется еще лучше и выглядит свежей.

Собранный материал позволяет создавать самые различные, всегда отличающиеся самобыт-



Фото Н.А.Соловьева

ностью предметы — от почти без изменений передающих исходные очертания, до сложных многофигурных сюжетных композиций. Под лезвием ножа коряги превращаются в причудливо переплетающихся змей, в птицу, плывущую по беспокойным волнам, в необычных фантастичес-

ких существ, в изысканные японские иероглифы или в огонь догорающего костра. Крупные по размеру заготовки можно использовать для создания отдельных скульптур. Иногда чувствуешь себя просто добрым волшебником, освобождающим кого-то от злых колдовских чар.

В моей домашней коллекции насчитывается несколько сотен экспонатов. Мне хочется надеяться, что эта заметка вызовет дополнительный интерес к доставляемому непередаваемое эстетическое удовольствие древнему, но вечно молодому искусству резьбы по дереву. ■

# Страсти в Кусковском парке

В.И.Булавинцев,

*кандидат биологических наук*

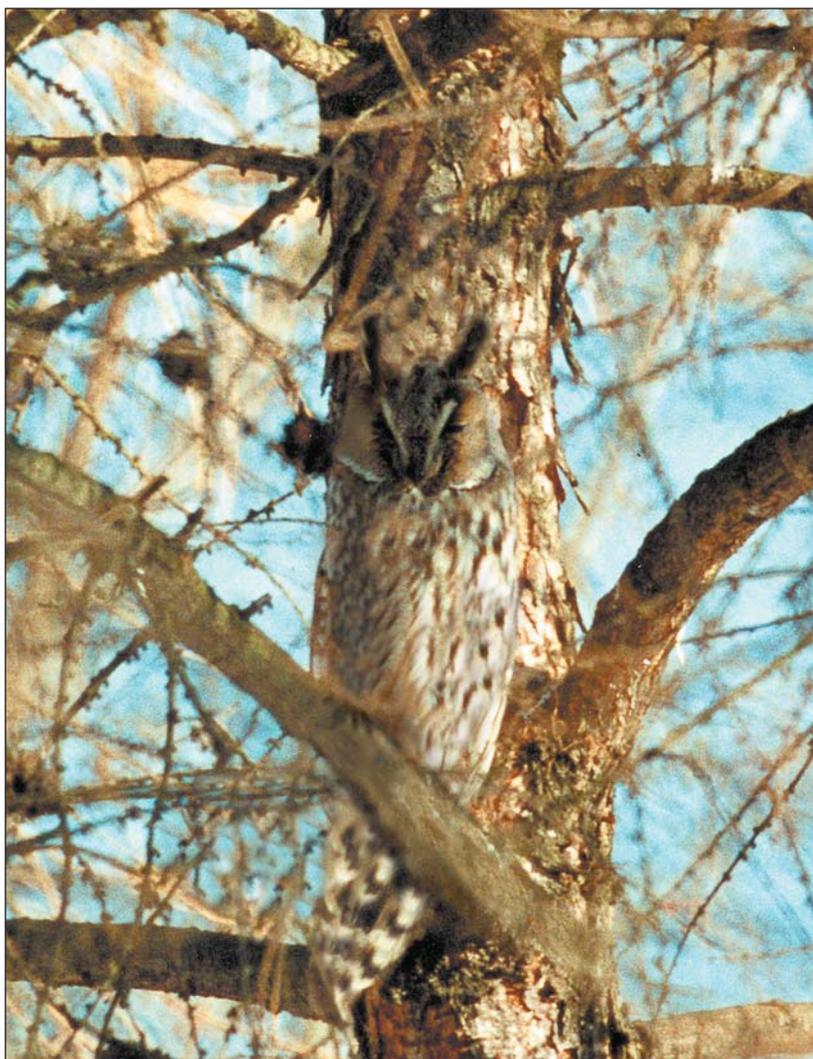
*Институт проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН  
Москва*

Год выдался урожайным рябиной, но она оставалась нетронутой птицами чуть ли не всю зиму. Кроме редких дроздов-рябинников — ни одного любителя этих подмерзших плодов. А в середине февраля в город нагрянули свиристели и управились с ними недели за две.

К началу марта от былого обилия ягод и следа не осталось. Огромные стаи свиристелей как появились разом, так разом и исчезли. На смену им подтянулись в московские дворы, скверы и парки снегири. Красногрудые увальни и их серовато-дымчатые подружки кормились на кленах, усыпая мартовский снег под деревьями рыжими коврами семенных носиков.

Солнечное утро застало меня в Кусковском парке в пятнадцати минутах ходьбы от дома. Нужно было поснимать снегирей. Занятые лущением семян, птицы подпускали довольно близко. Время за работой летело незаметно.

Идиллию ранневесеннего утра нарушили истошные крики ворон, гонявших понизу, у самой земли, длиннокрылую рыжеватую птицу. Через несколько секунд погони воронье буквально сшибло на снег ушастую сову.



Почти не различимый на дереве самец ушастой совы несет сторожевую службу.

© В.И.Булавинцев

Здесь и далее фото автора



Повернутый наземь самец в окружении ворон.

Окруженная со всех сторон серыми бандитами, она сидела, распушив перья, шипела и беспомощно озиралась по сторонам. Вороны наседали. Самая бойкая ухватила сову за кончик крыла и поволокла в сторону, повалив на бок. Остальные, словно ждавшие этого мгновения, дружно кинулись на нее серой волчьей стаей.

Дело принимало дурной оборот, пришлось вмешаться. Увидев близко человека, вороны оставили жертву в жалком, растрепанном виде и расселись на соседних деревьях, возмущенно горлая.

Спасенная сова неловко, боком, снялась и, пролетев у самой земли, поспешно плюхнулась в ближайшую приствольную воронку. Потом пугливо высунулась из нее, однако не решилась покинуть обретенного убежища.

Полчаса спустя страсти улеглись и сове удалось скрыться в молодом лиственничнике. Голые ветви лиственниц — не лучшая защита, но прижавшись к стволу дерева, птица буквально на глазах исчезла.

На этом история с совой не закончилась. Рядом с местом памятной битвы куртинами под-

растали молодые сосны. Пушистые кроны высились метров на девять, давая приют кормившимся в них желтоголовым королькам. К ним у меня был особый интерес. Уже пару недель пытался отснять их для ранее написанного рассказа. Безуспешно — крошечные корольки очень быстро снуют в кронах

сосен. Поснимав в очередной раз этих северных колибри, я собрался уходить и вдруг заметил легкое движение в старом вороньем гнезде у ствола лиственницы, метрах в шести над землей.

В бинокль рассмотрел торчащие ушки, прикрытые щелочки глаз сидящей неподвижно, стол-



Спасшийся самец выглядывает из углубления под деревом.



Самка ушастой совы насиживает кладку.



Совиное гнездо с единственным яйцом. Полевку принес самец на обед своей подруге.

биком, птицы. Вот что! Ушастая сова поселилась здесь, устроившись в брошенном гнезде. А вот и самец на соседней лиственнице, он мельче, его-то и трепали вороны в прошлый раз. Сидит торчком, возле самого ствола и совершенно с ним сливается.

Вороны явно знали о совином жилище, но на территорию ночных разбойников не совались, только горланили, изред-

ка собираясь неподалеку на соседних тополях. Позже, проходя мимо лиственничника, не раз видел сову и ее друга на страже. Но уже в середине апреля из гнезда торчали только ушки насиживающей кладку птицы, а к концу месяца и ушки исчезли, к тому же и сторож куда-то делся.

Подождав несколько дней, решил проверить в чем дело.

Не успел подняться по ломким сучьям молодой лиственницы метра на три, как затаившаяся в гнезде птица метнулась рыжим всплеском мягких крыл и скрылась в соседней куртине сосен.

В гнезде оказалось только одно яйцо, белое и круглое, как шарик для пинг-понга. И свежепойманная полевка, принесенная самцом на обед насиживающей подруге. Одно яйцо в середине срока насиживания — явно не нормально. Обычно их бывает пять-шесть. Но в городских условиях всякое случается, много кладок гибнет, кстати, не без помощи ворон.

Неделю спустя, в начале мая, та же участь постигла и мою многострадальную пару. Осиротел лиственничник. Что стало с совами, не знаю. Возможно, успели перебраться в другое гнездо, где-нибудь в более спокойном месте парка. Времени для повторной кладки до осени еще хватало. ■



Королек (слева) и снегирь.

# Морская улитка в роли растения

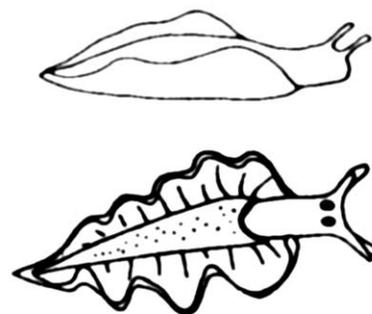
К.Н.Несис,  
доктор биологических наук  
Москва

В теле множества морских и некоторых пресноводных животных содержатся одноклеточные водоросли — золотистые зооксантеллы или зеленые зоохлореллы. Первых культивируют радиолярии, кораллы, актинии, медузы, гигантский двустворчатый моллюск тридакна и др., а вторых — зеленая гидра, плоский червь конволюта, некоторые губки и др. Хозяин выставляет своих симбионтов на яркий свет, и те, фотосинтезируя и подпитываясь поставленными хозяином соединениями азота и фосфора, производят органические вещества. Ими животные и питаются, не нуждаясь ни в какой иной пище, а если симбионтов становится слишком много, попросту переваривают их излишек.

Куда изощреннее добывают себе пропитание небольшие — до 3 см в длину — прибрежные безраковинные брюхоногие моллюски из отряда мешкоязычных (*Saccoglossa*) с красивым названием элизия (*Elysia*; в древнегреческой мифологии элизий — обитель блаженных в царстве мертвых). Они добывают из макроскопических, в несколько сантиметров, сифоновых водорослей хлоропласты — органеллы, где осуществляется фотосинтез. Поэтому са-

ми моллюски — зеленого цвета, особенно сильно окрашены отвороты их мантии (похожие на большие уши), окаймляющие тело с боков. Эти моллюски весьма привередливы в пище: зеленая элизия (*E.viridis*) поедает только водоросль *Codium tomentosum*, черно-зеленая (*E.atroviridis*) — лишь *C.fragile*, а зеленоухая (*E.chlorotica*) — вошерию (*Vaucheria litorea*). Зубной аппарат — радула — находится у этих моллюсков в особом глоточном мешке (потому они мешкоязычные), а сама глотка очень мускулистая. Единственным рабочим зубом, острым, как стилет, моллюск прокалывает стенку водоросли и глоткой, как насосом, выкачивает ее содержимое. Жидкость переваривается, а хлоропласты проникают в густо расположенные под кожей печеночные выросты и хранятся там в одной-двух (на каждый вырост) специальных крупных клетках эпителия.

Моллюски не воспринимают хлоропласты как нечто чужеродное, не отторгают их и даже не окружают защитной мембраной. Интересовавшийся этим странным явлением М.С.Гиляров назвал «симбиотические» хлоропласты клепторганоидами, т.е. похищенными органоидами [1]. Моллюски вылупляются, естественно, без хлоропластов, но осев на дно после завер-



Зеленоухая элизия (*Elysia chlorotica*), вид сбоку и сверху.

шения личиночной жизни в толще воды, безошибочно выбирают «родную» водоросль. Личинка садится на нее, вцепляется и в течение суток превращается в молодую элизию. Та начинает кормиться и с первым же обедом получает хлоропласты.

Зооксантеллы и зоохлореллы — одноклеточные организмы. У них есть ядро, и они сами управляют собственным обменом веществ. А хлоропласты — внутриклеточные органеллы, они не могут полностью обеспечить себя всем необходимым и многие белки, например, берут из цитоплазмы клетки. Как же хлоропластам удается выжить в клетках моллюска?

Эту задачу решали две группы американских ученых: из Техасского сельскохозяйственного и механического университета (руководитель исследований М.Рамфо) и из Мэрилендского университета (руководитель С.Пирс). Они работали с зеленоухой элизией, которая живет на заливаемых приливом засоленных лугах восточного побережья Северной Америки — от Новой Шотландии (Канада) до Чесапикского залива (США). Элизию и ее кормовую водоросль вошерии выращивали порознь в лабораторной культуре на искусственной морской воде [2].

Элизии жили в аквариуме девять месяцев без всякой пищи. Оказалось, им вполне достаточно света и углекислого газа из продуваемого через воду воздуха. Настоящие автотрофные животные! Все это время их хлоропласты нормально функционировали, в них синтезировались, как и положено, углеводы, жиры и белки, ими и жила элизия. Чтобы в этих органеллах работали обе фотосинтетические системы, имеющиеся в любой растительной клетке, нужны еще и другие белки. В растениях они кодируются ядерным геномом, синтезируются в клеточ-

ной цитоплазме и оттуда попадают в хлоропласты. У элизии таких генов нет!

Хлоропласты имеют собственную ДНК, рибосомы и могут размножаться делением. Но функционировать на протяжении девяти месяцев автономно, без управления со стороны клеточного ядра хозяина, они неспособны (попытки содержать изолированные хлоропласты в клеточной культуре оказались безуспешными). Очевидно, в клетках элизии все же синтезируются недостающие хлоропластам белки, и значит, ее геном каким-то образом контролирует работу органелл. Выходит, хлоропласты не «краденые органеллы», а уже собственные внутриклеточные органеллы моллюска!

Опыт закончился через девять месяцев потому, что все элизии умерли. Стали искать других, но, увы, в море их не оказалось. Жизненный цикл элизии длится девять-десять месяцев, и все взрослые моллюски погибают ежегодно и синхронно, что на берегу моря, что в аквариуме. Погибают, отложив яйца и освободив место для нового поколения, которое в мае осядет на дно.

Пирс, Рамфо и их сотрудники установили, что этот «феномен запрограммированной смерти» обусловлен деятельностью живущего в клетках элизии не известного ранее вируса [3]. В отличие, скажем, от человеческого вируса гриппа, он постоянно «живет» в ее теле (и имеется у всех без исключения моллюсков), но проявляется только весной и убивает — после размножения — лишь взрослых, завершивших жизненный цикл элизий. В другое время он «скрывается» в их геноме. Вирус (по-видимому, он относится к классу ретровирусов, содержащих не ДНК, а РНК) регулирует жизненный цикл элизии, и следовательно, будучи смертельным для особи, он необходим для благосостояния вида! Возможно, именно вмешательством вируса обеспечиваются те изменения в геноме элизии, которые приводят к синтезу недостающих хлоропластам белков. Такая вот получается нераздельная и неслиянная троица — моллюск, вирус и хлоропласт водоросли. Зеленое фотосинтезирующее животное с запрограммированной смертью — не каждый фантаст такое придумает! ■

## Литература

1. Гуляров М.С. // Журн. общ. биологии. 1983. Т.44. №5. С.614—620.
2. Green B.J. et al. // Plant Physiology. 2000. V.124. №1. P.331—342.
3. Pierce S.K. et al. // Biol. Bull. 1999. V.197. №1. P.1—6.

В 2000 г. в водах Мирового океана зафиксировано 79 случаев нападения акул на людей. Это максимальное количество с 1958 г., когда в США начали регистрировать такие эпизоды (для сравнения: в 1999 г. эти хищницы атаковали пловцов 58 раз). По-видимому, основная причина роста числа нападений в том, что увеличилась средняя продолжительность плавания людей. К тому же се-

годня информация о таких событиях быстро становится общеизвестной: в Интернете для нее есть специальный сайт ([www.flmnh.ufl.edu/fish/sharks/ISAF/ISAF.htm](http://www.flmnh.ufl.edu/fish/sharks/ISAF/ISAF.htm)).

Sciences et Avenir. 2001. №650. P.26 (Франция).

Общество «Invers» (Финляндия) ведет испытания новой системы обработки и оценки метеорологических данных,

полученных радаром. Она позволит измерять параметры быстро протекающих процессов на расстоянии до 400 км, благодаря чему можно будет обнаружить разрушительные торнадо за несколько часов до их приближения и принять необходимые меры.

Sciences et Avenir. 2001. №650. P.48 (Франция).

# Северный морской слон на Командорах

Е.Г.Мамаев,

кандидат биологических наук

Вятская государственная сельскохозяйственная академия

г.Киров

Ф.Г.Челноков

Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии

г.Петропавловск-Камчатский

Командорские о-ва, расположенные в северо-западной части Тихого океана на границе с Беринговым морем, — место обитания и размножения 30 видов современных морских млекопитающих. Некогда здесь встречалась и ныне вымершая морская корова (*Hydrodamalis gigas*). Большинство видов относится к отряду китообразных, и только восемь — из отряда ластоногих. Сивуч (*Eumetopias jubatus*), подвид тюленя обыкновенного — антура (*Phoca vitulina stejnegeri*) и ларга (*Phoca largha*) — здесь постоянные обитатели, а морской котик (*Callorhinus ursinus*) регулярно использует побережья островов для размножения только в летне-осенний период. Морж (*Odobenus rosmarus*), морской заяц, или лахтак (*Erignathus barbatus*), крылатка, или полосатый тюлень (*Histiophoca fasciata*), и акиба, или кольчатая нерпа (*Pusa hispida*), посещают острова довольно редко и встречаются единицами.

Летом 2001 г. произошло знаменательное для биологов событие: на о.Медном, на Юго-Восточном лежбище северных морских котиков и сивучей, появился необычный гость — северный морской слон (*Mirounga angustirostris*). Первый раз его



«Портрет» молодого самца северного морского слона.

Здесь и далее фото Е.Г.Мамаева

© Е.Г.Мамаев, Ф.Г.Челноков



Безуспешные попытки познакомиться.



Чтобы выглядеть солиднее среди сверстников, морскому слону приходилось приподниматься, опираясь лишь на живот.

заметили 5 августа, тюлень лежал на песке среди холостяков и молодых (полусекачей) котиков. Морской слон оказался трехлетним самцом серо-пепельной окраски, с более светлым брюхом. На заднем правом лапте мы обнаружили розовую пластиковую метку, с которой удалось считать номер. Как впоследствии выяснилось, зверь был помечен в марте 1999 г. в Калифорнии. Связавшись

с американскими коллегами, мы выяснили, что колония, в которой родился этот морской слон, находится в 3834 км от о. Медного и является самой северной точкой ареала морских слонов на материковой части. Образовалась колония в 1981 г. от трех особей, в настоящее время в ней более тысячи животных [1].

Северный морской слон размножается на западных побережьях Северной Америки — от

Орегона до Калифорнии и Мексики; способен он и к довольно далеким путешествиям — встречали его у берегов Аляски и Алеутских о-вов, а также на японском острове Хоккайдо [2, 3]. В российских водах был лишь один документально зарегистрированный случай обнаружения северного морского слона [4]. Труп взрослого самца нашли на тихоокеанском берегу о. Кунашир в июне 1986 г. Однако, по-видимому, этот тюлень появляется в дальневосточных водах России чаще, чем можно было бы предполагать. В начале сентября 1982 г. взрослого самца морского слона видели на берегу Сахалинского залива, южнее мыса Александра. Тюлень лежал на крупных валунах. Людям удалось подойти к нему на 25–30 м, после чего тюлень ушел в воду. Наблюдали зверя в течение нескольких минут, но все же успели заметить, что это было крупное животное с характерным для морских слонов «хоботом». Мы тщательно расспросили нашего респондента и полагаем, что ошибка в определении вида в данном случае скорее всего исключена, так как сложно спутать взрослого самца морского слона с каким-либо еще видом тюленей. Но, к сожалению, зверь не был сфотографирован для более точной идентификации.

Северный морской слон — самый крупный (масса самцов — до 3,5 т, самок — до 900 кг) представитель отряда ластоногих. Самцы — полигамны, в гаремах обычно до 10–12 самок. Период щенения начинается в декабре и продолжается до середины января [4]. После непродолжительного выкармливания молодняка (около 28 дней) самки оставляют лежбище и вновь возвращаются на него лишь спустя 2–3 мес — на период линьки. Во время размножения и линьки взрослые животные живут на берегу и не питаются, остальное же время проводят в море, что очень затрудняет их изучение [2]. Весь-

ма примечательно их поведение во время пелагического периода жизни: тюлени в основном находятся под водой и выныривают изредка (3.5–4 мин), чтобы глотнуть воздуха. Средняя продолжительность ныряния самок составляет 17 мин, а самцов — 21 мин. Максимальная продолжительность погружения самцов, зарегистрированная с помощью электронного устройства, составила 77 мин [5]. Однако северный морской слон может потягаться с кашалотом (который способен провести под водой до 1.5 ч) не только по продолжительности, но и по глубине погружения. Американские исследователи также установили, что максимальная глубина погружения взрослого самца северного морского слона составила 1529 м (известно, что кашалот может опускаться на 2 км), но обычно они ныряют на глубину до 350–450 м. В рацион морских слонов в основном входит рыба, а также головоногие моллюски и ракообразные, причем с равным успехом они способны кормиться и в прибрежной зоне, и на больших глубинах [6].

Молодой морской слон появился на о.Медном на лежбище, которое делили сивучи с северными морскими котиками, и почти не покидал участка с песчаным пляжем в течение всего периода наших наблюдений (с начала августа по конец сентября). Лишь однажды он отлучился на несколько дней, направившись на другой участок лежбища с галечными пля-

жами. Интересно было наблюдать за развитием его взаимоотношений с особями других видов ластоногих. В первые же дни мы заметили, что морской слон был абсолютно индифферентен к морским котикам, его интересовали только сивучи. Он явно стремился наладить контакт с ними, однако сивучи всякий раз, заметив его приближение, либо отходили в сторону, либо реагировали агрессивно, что во многом зависело от возраста и пола особей. Когда морской слон оказывался на главном репродуктивном участке лежбища, секачи наступали и делали выпады, широко раскрывая пасть, однако попытки прогнать его были неуверенными. Самки же реагировали по-разному: некоторые, очевидно более молодые, старались как можно скорее отойти на безопасное расстояние, а взрослые и крупные особи пытались отогнать незваного гостя. Молодые сивучи обоего пола, в возрасте до трех лет, относились к его приближениям с опаской и тут же отходили, а порой панически бежали. В результате, как ни старался морской слон приблизиться к сивучам, ему это не удавалось. Совсем иные взаимоотношения у него сложились с 3–4-летними самцами сивучей, которые будто не замечали внешних отличий нового «приятеля» и в игровой форме боролись, как это обычно происходит между ровесниками: прикусывали друг друга за шкуру, упирались и придавливали шеями и т.д. Для того чтобы бороться на равных, морскому слону

приходилось вставать, при этом опирался он лишь на живот, а голову, шею и грудь держал вертикально. Оторвав передние лапы от земли, он мог обнимать ими соперника. Нередко подобные игры происходили в воде, но как только животные выходили на берег и молодой слон пытался лечь вместе с недавними друзьями, те тут же либо агрессивно его отгоняли, либо отходили сами. Подобное поведение резко контрастировало с повадками молодых самцов сивучей, которые обычно после игры отдыхают на берегу вместе, бок о бок.

Появление морского слона в колонии сивучей и его поведение в среде особей другого вида весьма любопытно и требует тщательного анализа. Из литературы известно, что молодые морские слоны довольно активно идут на контакты не только с представителями других видов ластоногих, например с калифорнийским морским львом (*Zalophus californianus*), но и с человеком. Описаны случаи, когда самцы преследовали пловцов, что принималось за aberrantное половое поведение [7]. В том что морской слон оказался вдали от родных мест, в общем-то нет ничего удивительного: благодаря некоторым особенностям биологии эти морские млекопитающие способны к дальним перемещениям. И все же обнаружение северного морского слона на Командорских о-вах — примечательное событие и представляет большой интерес для специалистов. ■

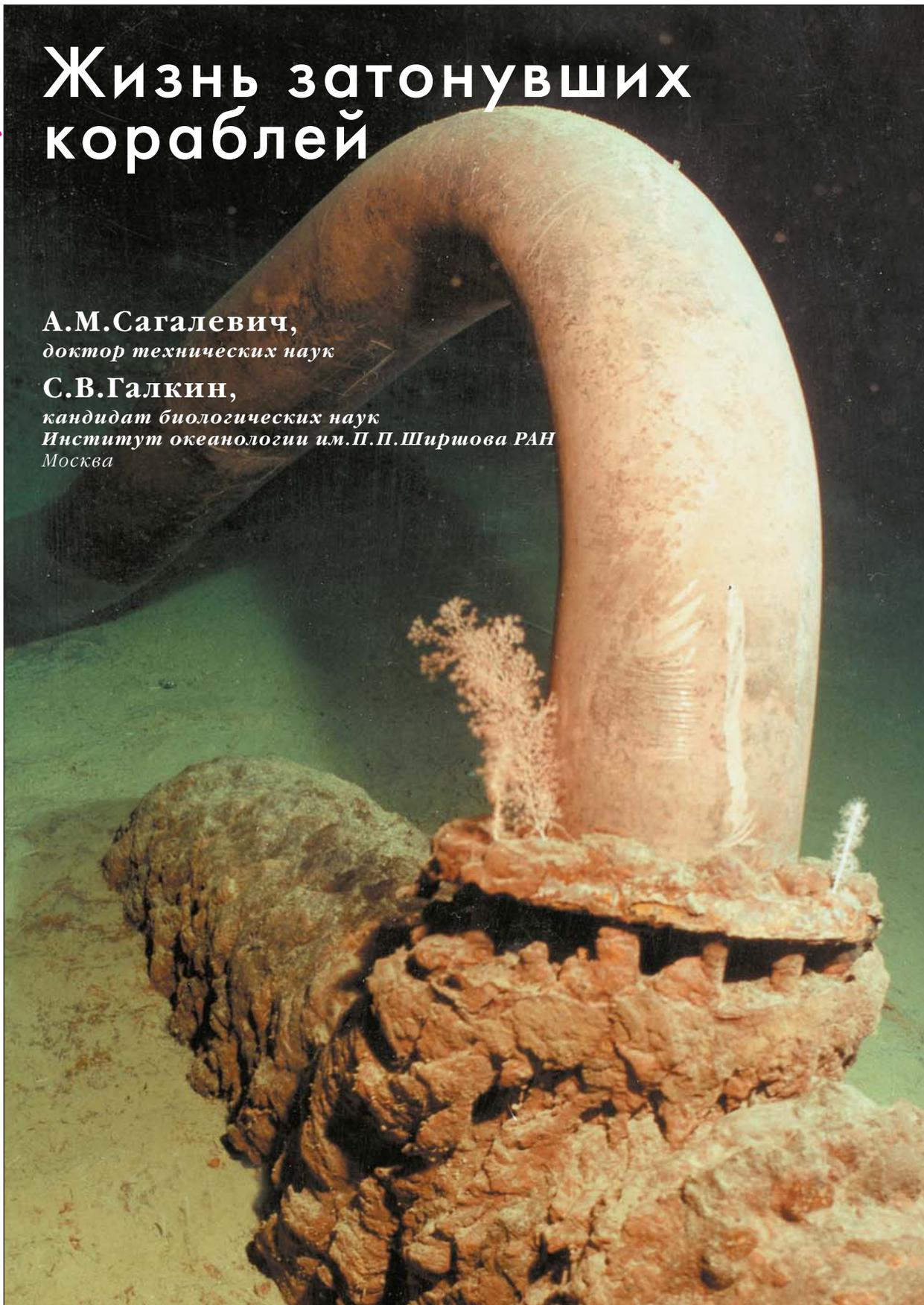
## Литература

1. Nevins H., Pettee J., Nottbelfer D. et al. Northern elephant seal colony expansion accelerated by environmental factors at Point Reyes National Seashore, California, 1993–1998 // Abstracts. 13th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Wailea; Hawaii, 1999, Nov. 28 — Dec. 3, P.133–134.
2. De Long R.L., Stewart B.S., Hill R.D. // Marine mammal science. 1992. V.8. №2. P.155–159.
3. Mesnick S.L. Maria del Carmen Garcia Rivas, Le Boeuf B.J., Peterson S.M. // Marine mammal science. 1998. V.14. №1. P.171–178.
4. Томилин А. Г., Перовский М. // Охота и охотничье хозяйство. 1987. №6. С.14–15.
5. De Long R.L., Stewart B.S. // Marine mammal science. 1991. V.7. №4. P.369–384.
6. Sinclair E.H. // Marine mammal science. 1994. V.10. №2. P.230–239.
7. Webster S.A., Baird R.W. // Marine mammal science. 1998. V.14. №1. P.202–203.

# Жизнь затонувших кораблей

**А.М.Сагалеви́ч,**  
*доктор технических наук*

**С.В.Галкин,**  
*кандидат биологических наук*  
*Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН*  
*Москва*



Как ни печально, история кораблекрушений насчитывает столько же тысячелетий, сколько и история мореплавания. Во все времена корабли тонули, застигнутые штормами, сталкивались с айсбергами, становились добычей пиратов, гибли в морских сражениях. В истории морских катастроф немало «знаменитостей», среди них наиболее известен легендарный «Титаник». О нем и некоторых других судах написаны книги, сняты художественные и научно-популярные фильмы. Гораздо больше кораблей, не оставивших следа в истории — даже их названия навсегда стерлись из человеческой памяти. Между тем, став добычей пучины, сами корабли не исчезают бесследно. Достигнув океанского дна, их останки становятся своеобразным компонентом донного ландшафта, причем отнюдь не безжизненным — в них поселяются многочисленные глубоководные обитатели. Постепенное разрушение корпуса, коррозия металлических конструкций, разложение органических остатков груза — все эти процессы не могут не сказываться на функционировании донных экосистем в районе кораблекрушения. Масштабы влияния могут оказаться значительными, ведь за столетия навигации на дне океана скопилось огромное количество антропогенных объектов.

Обнаружить затонувшее судно и всесторонне обследовать его в открытом море на большой глубине технически очень сложно. Это стало возможно лишь с появлением глубоководных буксируемых и обитаемых аппаратов. Так, в течение последнего десятилетия на научно-исследовательском судне «Академик

© А.М.Сагалевич, С.В.Галкин

Мстислав Келдыш» проводились экспедиции по обследованию затонувших объектов с помощью глубоководных обитаемых аппаратов «Мир-1» и «Мир-2» — им доступны глубины до 6 тыс. м. В некоторых погружениях участвовали ученые-биологи, они непосредственно наблюдали через иллюминаторы за животными, облюбовавшими различные части затонувших судов, их обломки и т.д. Во всех погружениях проводились подводные съемки: видеозаписи и фотографии — очень информативный научный материал, просмотр и изучение которого позволяют ученому составить полное представление о закономерностях поселений животных на различных объектах.

В мае—октябре 2001 г. в 46-м рейсе «Академика Мстислава Келдыша» были обследованы останки трех объектов в Северной Атлантике — «Титаника», «Бисмарка» и небольшой деревянной шхуны, затонувшей в 800 милях к северо-востоку от Багамских о-вов.

## «Титаник»

Как известно, «Титаник» затонул в 300 милях к юго-востоку от о.Ньюфаундленд на глубине 3800 м. Во время катастрофы корабль разломился на две крупные части — носовую и кормовую, при этом от корпуса отделилось множество обломков, внутри выпали тысячи различных предметов: от огромных паровых котлов и других частей машинного отделения до кухонной утвари, личных вещей пассажиров и членов экипажа. Обломки рассредоточились на значительной площади дна — около мили в диаметре.

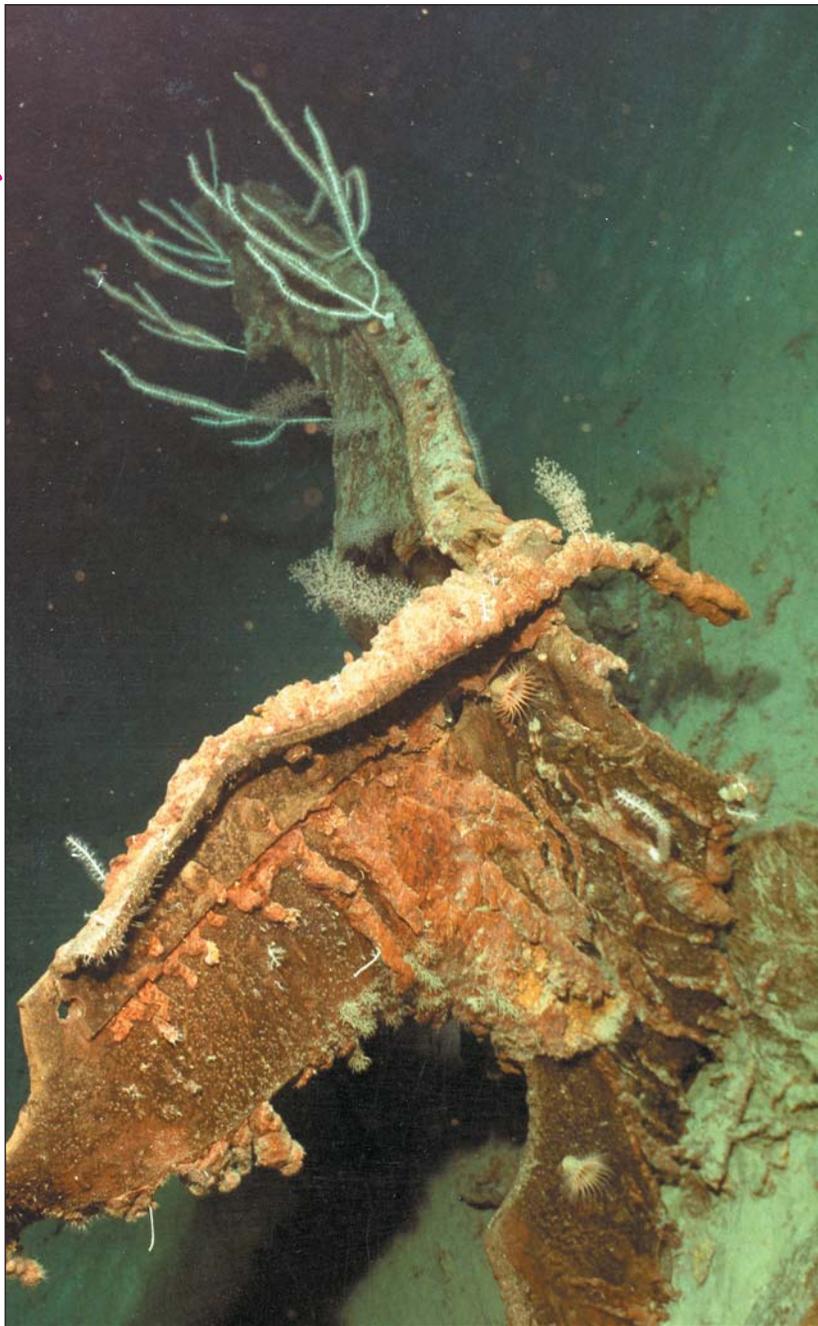
Район гибели «Титаника» посещается экспедициями нашего

института уже в шестой раз (1991, 1995, 1998, 1999, 2000 и 2001 гг.). В течение всех этих экспедиций, помимо кино-, видео- и фотосъемок, велись непосредственные наблюдения за животными, населяющими основные, крупные части «Титаника», его обломки и окружающую территорию дна.

Как показывают многолетние наблюдения, внедрение в природный ландшафт крупных инородных тел и многочисленных металлических обломков, кусков угля, посуды, кафеля и т.д. значительно изменили его. За десятилетия после аварии произошла весьма значительная коррозия металла, площадь покрытия грунта рыжими окислами железа в непосредственной близости от металлических конструкций достигает местами 80%. Вершины намытых течением «барханов» на дне также на 2.0—2.5 см покрыты окислами железа, грунт рядом с корпусом судна — потеками ржавчины. Носовая и кормовая части коррозировали очень сильно. И корпус, и надстройка сплошь усеяны свисающими натеками ржавчины, напоминающими сосульки льда разных размеров — от первых сантиметров до метра и более. При малейшем прикосновении «сосульки» разлетаются в красную пыль. (Эти своеобразные структуры отчасти химического, отчасти микробиологического происхождения в современной англоязычной научной литературе называются «rusticles». В русскоязычной — пока аналогов нет, поэтому в среде специалистов принято использовать английский термин.) Создается впечатление, что обломки судна постепенно «перетекают» в «rusticles», которые дорастают до определенного предела, обламываются и падают на грунт, а оставшиеся на корпусе их части продолжают расти дальше, съедая металлические конструкции. Непосредственно под кусками металла образуется восстановленный осадок темно-серого, а иногда — черного цвета с реками ржавчины на дне.

Восьмилучевые кораллы двух видов: кустистая горгонария *Chrysogorgia agassizi* (слева) и молодая бичевидная на фрагменте трубопровода судовой машины «Титаника».

Здесь и далее фото Ю.А.Володина



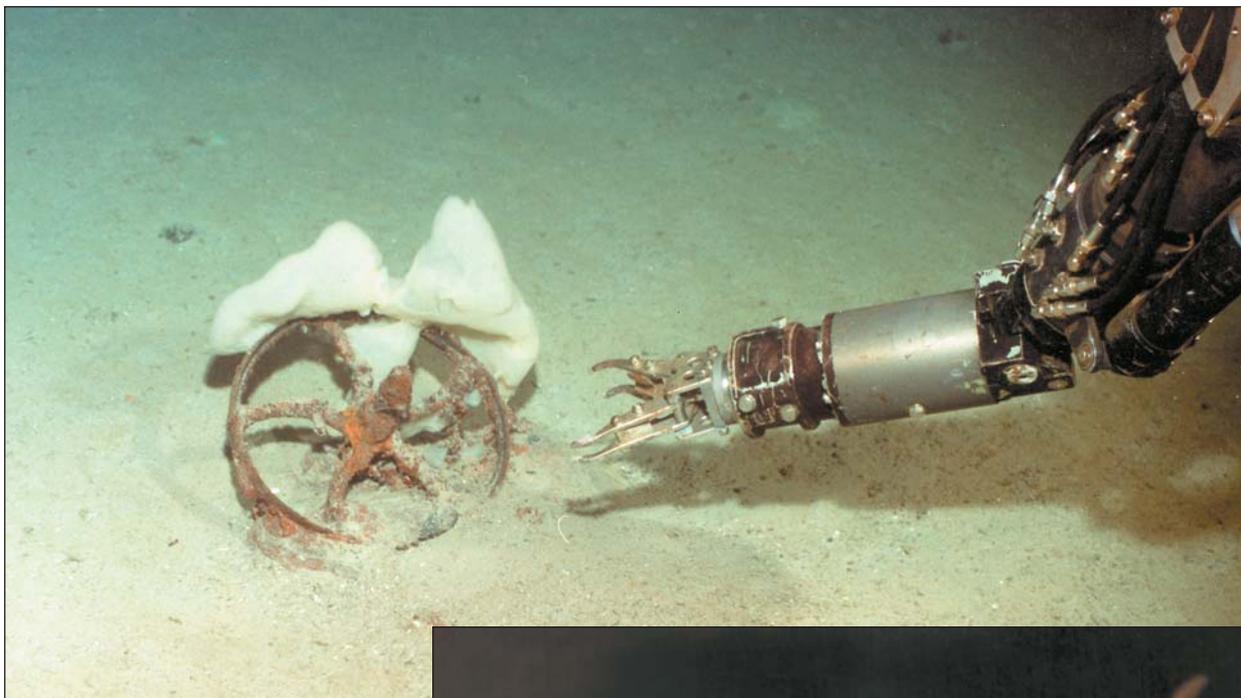
Кустистая и бичевидная горгонии, а также актинии на обломке борта «Титаника», с которого свисают натеки жавчины.

Столь мощное воздействие ржавеющего «Титаника» на окружающую обстановку не могло не сказаться на животном мире. Иногда аппараты «Мир» садились на дно в полумиле от «Титаника», где еще не было заметно его влияния: редко встречались рыбы, порой — голотурии,

или морские огурцы (Holothuroidea), а также сидящие на камнях звезды-бризингиды (Brisingidae). По мере приближения к судну и его металлическим частям и количество животных, и число их видов начинали резко возрастать. Только во время одного из погруже-

ний, маршрут которого у дна составил 1700 м, было встречено 28 видов животных, в том числе четыре вида рыб. Три вида беспозвоночных животных (бичевидные восьмилучевые кораллы — горгонии, галатеидный крабоид *Munidopsis* и белая офиура) могут быть охарактеризованы как массовые, на маршруте они встречались в 0.5–3 м друг от друга. Каждый из них по-своему реагирует на присутствие инородных предметов. Бичевидная горгония селится исключительно на обломках судна или кусках угля, вырастая до трехметровой высоты и, как правило, имеет от одного до семи отростков. Для сравнения заметим, что вдали от обломков «Титаника», в фоновой зоне, где горгонии обычно селятся на карбонатных осадках, они достигают в высоту не более четырех сантиметров и имеют вид палочек, торчащих из субстрата. Рак *Munidopsis* в фоновой зоне довольно малочислен, в районе кораблекрушения встречается практически на любом крупном обломке, одиночно или парами. Белая офиура, напротив, предпочитает естественный ландшафт, а на участках дна, припорошенных окислами железа, отсутствует.

Остальных животных также можно условно поделить на две категории по привязанности к субстрату: одни (девять видов) явно избегают селиться на обломках судна, другие (12 видов) — явно тяготеют к ним. Первую группу составляют бесскелетные одиночные полипы отряда *Seriantharia*, брюхоногие моллюски (*Gastropoda*), паразитические и свободно живущие веслоногие рачки (*Copepoda*), раки-отшельники (*Anomura*), морские лилии (*Crinoidea*), крупные фиолетовые голотурии, морские звезды *Astropectinidae*. Эти животные не отмечены на обломках корабля и избегают осадка, покрытого окислами железа. Ко второй категории относятся



Губка, выросшая на металлическом вентиле, и манипулятор «Мира».



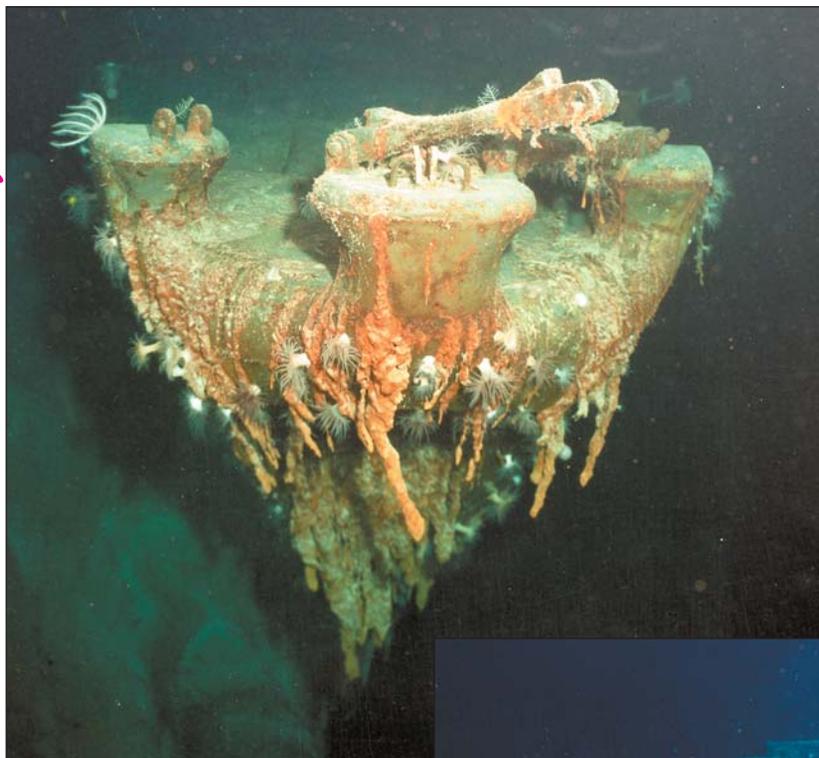
Макрорус над полем обломков вблизи «Титаника».

прежде всего животные, ведущие сидячий образ жизни, — некоторые виды стеклянных губок (*Hyalospongia*), актиний, или морских анемонов (*Actiniaria*), горгонарий (*Gorgonaria*), сидячих многощетинковых червей (*Polychaeta*), усоногих раков (*Cirripedia*), асцидий. Очень характерны в этом отношении морские

звезды-бризингиды. Эпифауна охотно заселяет многие антропогенные субстраты, свободные от ржавчины: стеклянная губка и полихеты-серпулиды были отмечены на поверхности котла из нержавеющей стали, стеклянные губки — на фаянсовых и кафельных обломках. На валунах ледового разноса, в стороне от «Титаника»,

отмечались многочисленные обрастатели: крупные бичевидные горгонарии, белые губки и однажды — морское перо. Кроме того, бичевидные горгонарии росли и на фарфоровых предметах, выпавших с корабля.

Непосредственно на корпусе «Титаника» встречены только мунидопсисы, бичевидные гор-

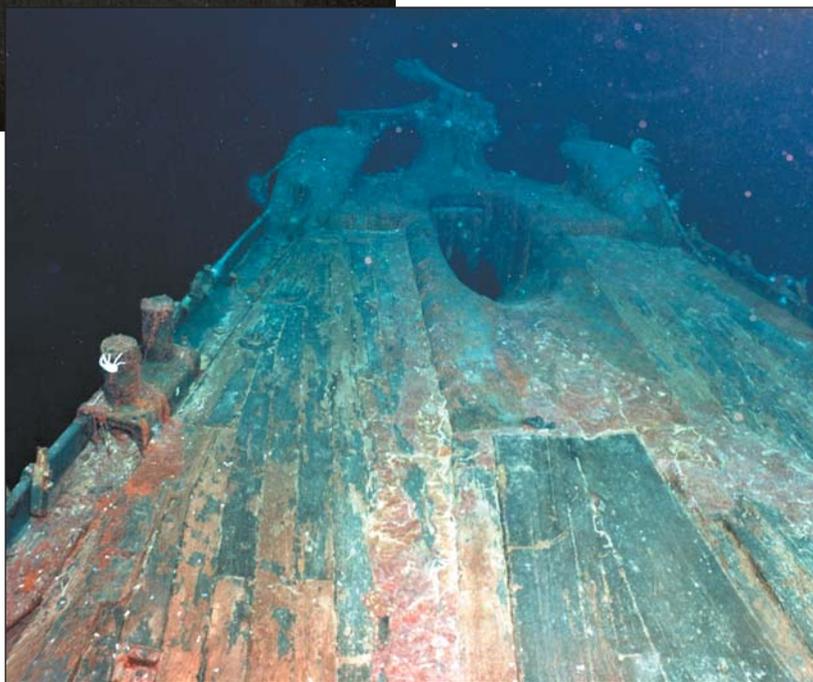


Носовая часть «Бисмарка» в натеках ржавчины — дом для многочисленных актиний и колючих мшанок (на кнехтах). Слева вверху примостились морская звезда-бризингида.

В отличие от бортов деревянная палуба «Бисмарка» не заселена, лишь слева сидит белый крабид *Munidopsis*.

гонарии и актинии. На поверхностях, покрытых ржавчиной, крупная эпифауна обычно отсутствует. Однако на фрагменте леерного ограждения, поднятого во время 46-го рейса канадскими исследователями специально для изучения натеков ржавчины, мы обнаружили мелких гидроидов и очень маленький экземпляр усонного рака подотряда *Verrucomorpha*.

На носовой части «Титаника» отмечены шесть видов животных-обращателей. На борту, на чистых пятнах металла, местами сохранившихся среди сплошного ковра натеков ржавчины, в метре-полтора от грунта, росли крупная и мелкая актинии и серая кустистая горгонария *Chrysogorgia agassizi*. На самих же натеках никаких обрастателей не отмечено. Кроме того, на отдельной косо торчащей трубе, на шлюпочной палубе, была обнаружена небольшая колючая мшанка. В разных местах носовой части «Титаника» растут крупные (около метра длиной) бичевидные горгонарии. На самом форштевне



«Титаника», в полутора-двух метрах от его вершины, поселилась крупная глубоководная асцидия на длинном тонком стебельке. На верхнем леере, над форштевнем погибшего судна, сидит красивая колония *Ch.agassizi*. Неоднократные посещения «Титаника» в течение 10 лет дали уникальную возможность оценить по архивным фотографиям и видеозаписям скорость роста этого глу-

боководного коралла [1]. Ранее такие данные для абиссальных сидячих животных получены не были.

В 46-м рейсе при работах с американским дистанционно управляемым аппаратом внутри корпуса «Титаника» (в помещении одного из салонов) были сняты на видеопленку червеобразные голотурии *Chiridotidae*, использующие для укрытия остатки деревянной мебели.

## «Бисмарк»

Крупнейший немецкий линкор «Бисмарк» был потоплен английским флотом и авиацией 27 апреля 1941 г. и ныне покоится на глубине 4670 м в 400 милях от побережья Франции (48°07'с.ш. 16°08'з.д.) [2]. Останки корабля были обнаружены в 1989 г. экспедицией Роберта Балларда на судне «Star Hercules» с помощью буксируемой платформы «Арго», оборудованной локатором бокового обзора, теле- и фотокамерами. Тогда были сделаны снимки и видеозаписи, определено положение корабля на грунте.

Во время нашей последней экспедиции район кораблекрушения «Бисмарка» впервые обследовался с использованием глубоководных обитаемых аппаратов «Мир». Несмотря на то что координаты нахождения «Бисмарка» были известны (их предоставил нам Баллард), поиск останков корабля на дне занял более пяти часов. Расхождение в координатах составило 1400 м, что обусловлено, по-видимому, погрешностями в определении координат в 1989 г. Поиск был затруднен еще и тем, что рельеф дна довольно сложный: корабль лежит на склоне холма в каньоне, его нелегко обнаружить с помощью локаторов, которыми оборудован «Мир».

Корпус «Бисмарка» представляет собой единое целое, от него только отломилась часть кормы. В отличие от «Титаника» на нем почти нет ржавчины, сохранилась даже серая краска. И это неудивительно, ведь корпус «Бисмарка» сделан из высокопрочной легированной крупновольфрамовой стали. Корабль лежит на ровном киле и частично погружен в донный ил. Правый борт, обращенный к склону, на две трети находится под осадком, левый — практически свободен от осадка. При ударе о грунт со стороны левого борта образовался глубокий ров шириной около пяти метров, а затем вал, вниз по склону пошел мощный опол-

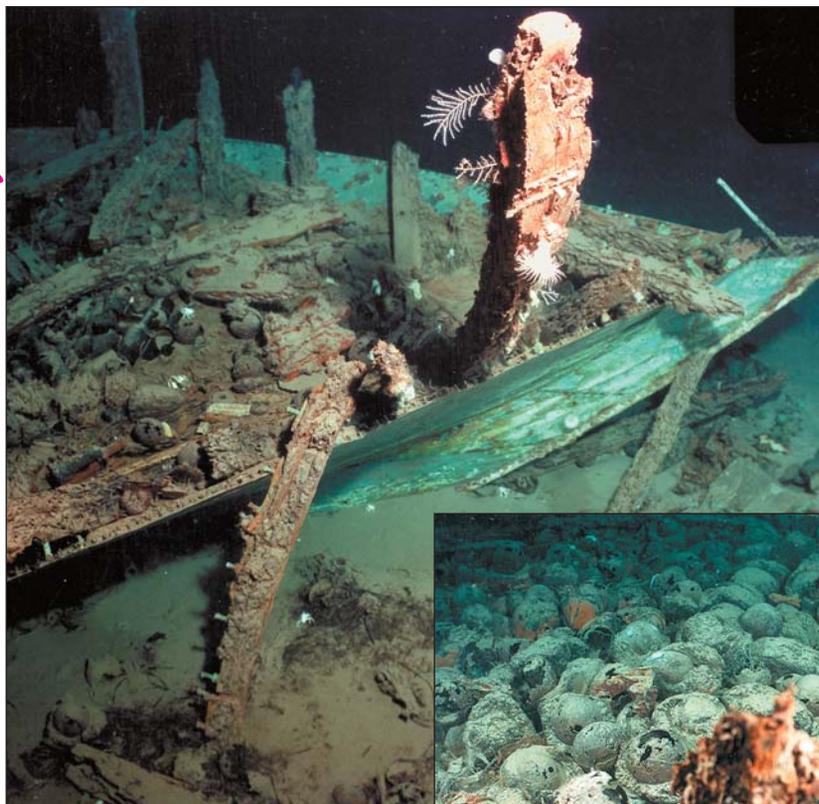


Актинии на стволах орудия «Бисмарка».

зень. Все четыре башни с орудиями главного калибра (380 мм), боевая рубка, дымовые трубы и ангары гидросамолетов отсутствуют. Вместе с тем орудия среднего калибра (150 и 105 мм) находятся в хорошем состоянии. Из животных-обрастателей, используемых для прикрепления корпус и детали конструкции «Бисмарка», наиболее многочисленны довольно крупные актинии с белым телом и розоватыми щупальцами, достигающие 15—20 см в высоту и 25 см в диаметре наружного венчика щупальцев. Пищей для этих глубоководных хищников служат мелкие планктонные животные. В составе обрастателей отмечены также мелкие горгонии по меньшей мере двух видов, достигающие 20 см в высоту: гидроидные полипы, полихеты-серпулиды. Встречаются и звезды-бризингиды в характерных «ловчих» позах. Стремясь по-

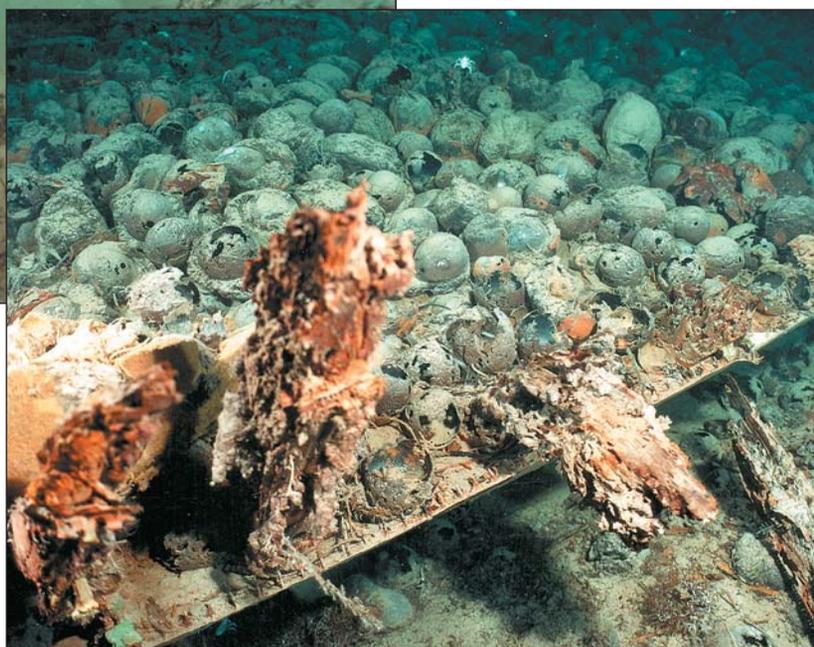
пасть в зону наиболее сильных течений, эти животные сидят на выступающих деталях — например, корабельных кнехтах.

Распределение животных на корпусе «Бисмарка» очень неравномерно. Наибольшая плотность обрастателей, питающихся взвесью из потока воды, наблюдается в носовой части корабля, в районе форштевня, на орудийных стволах, на острых гранях конструкций, т.е. там, где придонные течения создают условия для локальной концентрации пищевых частиц [3]. Напротив, плоские участки (остатки палубного покрытия) практически лишены обрастателей. Из активно подвижных животных на корпусе корабля довольно многочисленны белые крабоиды *Munidopsis* (сем. Galatheidae). Этих всеядных ракообразных привлекает сюда, по-видимому, повышенное по сравнению с окружающими



Носовая часть шхуны с сохранившейся медной обшивкой и обломками шпангоутов. Хорошо видны крупная актиния и колючие мшанки; белые точки на дне — многочисленные крошечные крабиды *Munidopsis*.

Груз кокосов, пролежавший на дне без малого два века.



районами количество потенциальной пищи, которой могут стать отмершие обрастатели.

## Деревянная шхуна

В 1999 г., во время поисков космической капсулы «Либерти Белл» (затонувшей в Саргассовом море в 1961 г. после второго американского пилотируемого полета в космос), с помощью лоатора бокового обзора американской поисковой экспедицией был обнаружен на дне океана объект с параметрами, соответствующими небольшому судну длиной около 30 м. Космическая капсула была обнаружена и поднята, а найденный корабль привлек внимание археологов и историков.

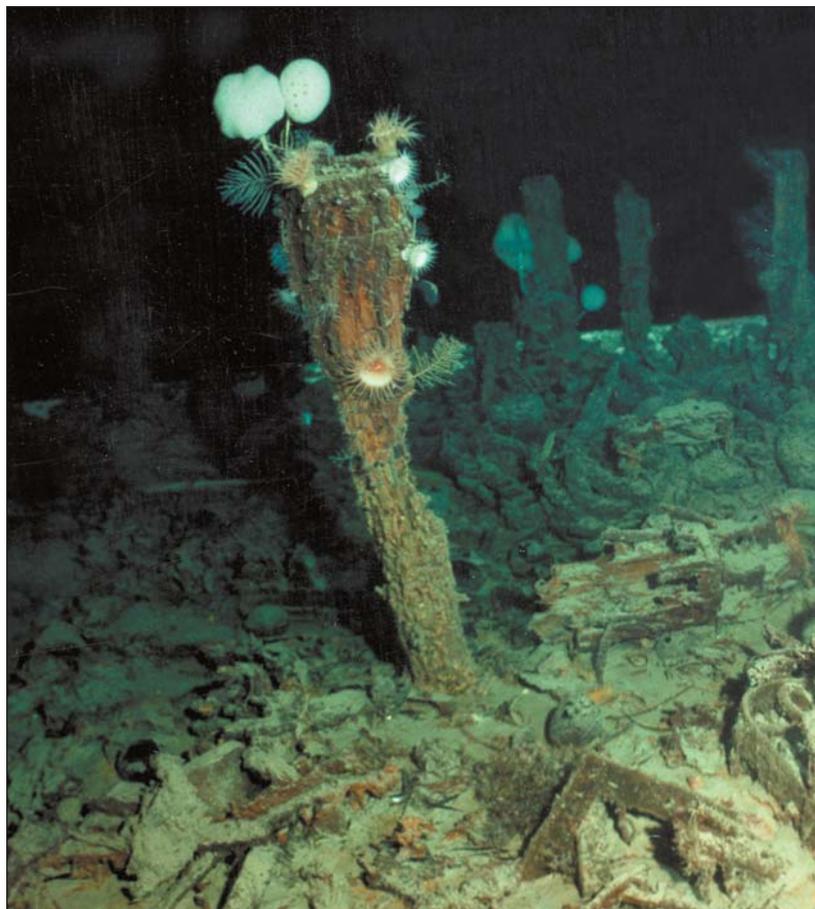
В составе экспедиции 46-го рейса работала группа археологов из Института морской археологии (штат Флорида) во главе с профессором Д.Синклером. Работы проводились в 200 км к северо-востоку от островов Гранд-

Багама и Абако из группы Багамских о-вов (27°35'с.ш., 75°45'з.д.). Несмотря на то что координаты объекта были определены по данным спутниковой навигации в 1999 г., поиск занял практически все первое погружение двух аппаратов «Мир». Поиск осуществлялся в условиях сложного рельефа — комплекса протяженных грядами, сложенных осадочными породами, высотой до 20 м и расстояниями между их гребнями 150—200 м. Направление гряды, образованных донными течениями, широтное — с запада на восток. Объект найден по небольшому металлическому

стержню, лежащему на гребне одной из гряды. Сам же объект лежал у основания южного склона гряды на глубине более 4700 м и оказался остатками деревянной шхуны длиной около 25 м. Судя по найденным на шхуне монетам, самая ранняя из которых датируется 1808 г., затонула она в начале XIX в.

На шхуне, видимо, перевозили кокосы, которые довольно неплохо сохранились за те без малого 200 лет, что они пролежали на морском дне. Ядра многих из них обнажились, скорлупа оказалась расколота и повреждена древоточцами. Инте-

ресно, что в ядрах кокосов сохранились даже остатки съедобной мякоти, превратившиеся в липкую белую массу с неприятным сладковатым запахом, слои грубых волокон околоплодника (мезокарпия) отчетливо пахли сероводородом. Во время просмотра видеозаписей на некоторых кокосах были замечены коричневые трубки, особенно многочисленные на поврежденных орехах. В одном месте трубки торчали из проломленного ядра, как букет цветов из вазы. Один из орехов был взят на исследование. Кожистые полупрозрачные трубки буквально обвивали орех, крепясь к остаткам кожуры, прорастали сквозь волокна околоплодника. К сожалению, все эти трубки оказались пусты — обитатели давно погибли, поэтому идентифицировать их было невозможно. По внешнему же виду и размерам они весьма напоминают трубки вестиментифер (*Vestimentifera*) — своеобразных бескишечных беспозвоночных, питающихся за счет хемосинтезирующих бактерий, которые содержатся в их тканях. Животные этой группы обитают в районах гидротермальных источников, холодных углеводородных высачиваний и в других биотопах, где избыток сероводорода создает условия для бактериального хемосинтеза. Известны находки вестиментифер на останках крупных млекопитающих (китов) и на затонувшем судне, перевозившем бобы [4]. Несомненное сходство ситуаций (кокосовые орехи не менее богаты питательными веществами, чем бобы, и при разложении дают не меньше сероводорода) позволяет предположить, что мы имеем дело с аналогичным случаем.



Остатки мачты шхуны стали «оазисом» для стеклянных губок, мшанок и актиний.

Многочисленны на шхуне и другие обитатели, использующие обломки корабля в качестве твердого субстрата. В основном это — неподвижные сестонофаги, использующие в пищу придонную взвесь. Они особенно многочисленны на сохранившихся кромках бортов и на выступающих вверх остатках шпангоутов. Поселившиеся здесь фильтраторы находятся, очевидно, в наиболее выгодном положении, попадая в более сильный поток воды. Именно поэтому остатки шхуны выгля-

дят своеобразным оазисом на фоне окружающего пустынного ландшафта. Судя по наблюдениям из аппарата и сделанным видеозаписям, поверхность осадка вокруг довольно безжизненна и несет редкие следы биотурбации в виде холмиков выбросов и нор роющих организмов.

Эта шхуна, по свидетельству американских археологов, — самое «глубоководное» деревянное судно, найденное и обследованное за всю историю поисковых операций. ■

## Литература

1. Виноградов Г.М. Как быстро растут глубоководные кораллы? // Природа. 1999. №6. С.85—86.
2. Линейный корабль «Bismarck» / Сост. Н.И.Печуконис, Ю.В.Давыдов. СПб., 1994.
3. Галкин С.В. О методике исследования донных сообществ подводных поднятий // Проблемы современной океанологии. М., 1987. С.110—113.
4. Dando P.R., Southward A.J., Southward E.C. et al. // Nature. 1992. V.356. P.667.

# Гидротермальная деятельность в озере Йеллоустон

Б.И.Силкин  
Москва

Тысячи туристов ежегодно посещают Йеллоустонский национальный парк — крупную заповедную территорию площадью почти 9 тыс. км<sup>2</sup> на стыке штатов Вайоминг, Монтана и Айдахо. Их привлекают не только гейзеры и горячие ключи, но и берега Йеллоустонского озера. Здесь можно ловить форель или просто отдыхать, взирая на удивительный покой и гладь этих вод.

Однако, казалось бы, хорошо изученное озеро недавно преподнесло сюрприз: на дне бассейна, занимающего более 350 км<sup>2</sup>, открыты целые скопления мощных трещин, извергающих потоки разогретых вод, глубокие кратеры, перемежающиеся остроконечными и округлыми куполами [1].

В последние годы на озере работали специалисты разного профиля — физики, сейсмологи, лимнологи и биологи, оснащенные аквалангами и телеметрически управляемой автоматической подводной лодкой с акустическим локатором. За короткое время удалось составить предварительную карту примерно 40% площади озерного дна.

Йеллоустонский бассейн занимает часть одной из крупнейших на всей Земле кальдер. Выступая на недавней конференции Американского геофизического союза (Сан-Франциско, штат Калифорния), геофизик Р.Смит (R.Smith) из Университета штата Юта в Солт-Лейк-Сити, представил данные о тепловом потоке из недр, соби-

равшиеся десятилетиями, но пока не изученные. Они свидетельствуют о том, что под дном водоема залегают разогретые вулканические породы. В среднем через каждый квадратный метр ложа вверх поступает около 2 Вт энергии, а на отдельных участках эта величина возрастает в 20 тыс. раз. Хотя озеро занимает сравнительно небольшую часть территории парка, сквозь воды поступает 20% всего теплового потока.

Однако, несмотря на «подогрев» снизу, на дне, в особенности в самых глубоких местах (120 м), относительно холодно — около 4°C. Правда, недавно обнаружены точки, где осадочные породы, лежащие всего в 3,5 м под коренным дном, разогреты до 118°C.



Река на территории Йеллоустонского национального парка.

© Б.И.Силкин

Фото А.П.Горбатовой

Сейсмическое профилирование дна показало, что тепловой поток идет от огромных скоплений пара, находящегося под большим давлением. «Пузыри» постоянно образуются рядом с магматическими камерами, наполненными расплавом. От взрывообразного выброса на поверхность их удерживает только колоссальный вес лежащих над ними вод.

Полагают, что, когда 12–15 тыс. лет назад ледники начали отступать и уровень Йеллоустонского озера постепенно падал, эти пары все же выходили на поверхность, но без взрывов.

На уровень озера, кроме того, влияло положение вытекающей из него р.Йеллоустон, русло которой временами поднималось, образуя «плотину», перекрывающую поток, или опускалось из-за происходящих в недрах магматических явлений. Этот процесс идет и сейчас: между 1923 и 1984 гг. ложе реки поднялось чуть ли не на 1 м, после чего начало падать, а с 1995-го снова подниматься. За изменением стока менялось и количество воды в озере, менялось его давление на паровые «пузыри» в недрах.

Выяснилось, что разница между наивысшим залеганием берега и нижней его линией достигает 30 м. Последнее обстоятельство подтверждается археологическими данными. Так, датировка органики, обнаруженной рядом с каменными орудиями труда, изготовленными руками палеоиндейцев, показала, что их возраст от 1 до 3 тыс. лет. Эти предметы материальной культуры были найдены на разных уровнях, что может свидетельствовать о резких колебаниях зеркала озера. Значит, клубы пара временами, можно полагать, вырывались на поверхность.

Батиметристы из Управления геологической съемки (Денвер, штат Колорадо) составили подробные карты рельефа дна Йеллоустона и нескольких небольших ближайших к нему озер. И тут, и там обнаружилось немало воронок, явно порожденных мощными глубинными взрывами и окруженных обломочными породами.

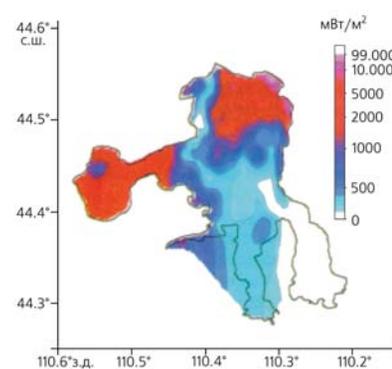
На дне озера залива Мэрис-Бей обнаружилось четкие следы взрыва, случившегося около 10,8 тыс. лет назад, а в озере Индиан-Понд — 3 тыс. лет назад. У десятков донных кратеров небольшой величины и сегодня все еще тепловой поток достаточно высок.

Оказалось, что на дне местами разбросаны купола, как бы вспученные скопившимися под ними парами. (Один из них в длину достигает 1 км и возвышается на 50 м.) Возможно, это предвестники будущих взрывов. На суше, в парке, ничего подобного нет; вероятно, потому, что пары уходят в воздух. Теперь на подобные холмы устанавливаются наклонометры, чтобы тщательно следить за их изменениями.

Еще несколько лет назад сотрудники Университета штата Висконсин в Милуоки начали изучать скопление островерхих башенок и шпилей, похожее на лес. Эти образования усеивают дно Йеллоустона и высятся на многие метры над ним. Сейчас уже ясно, что они сформировались в результате геотермальной активности. Один такой «лес» (он тянется в длину примерно на 400 м вдоль разлома земной коры) зафиксировала видеокамера, спущенная на борту телеуправляемого погружаемого аппарата.

Подобные образования до сих пор были известны на дне морей, там, где горячие воды поднимаются по гидротермальной расселине и несут с собой массу сульфидов. Попадая в более холодную среду и быстро осаждаясь, они образуют подобие печных труб, называемых курильщиками. Когда удалось отломить и поднять полуметровый кусок одного из «шпилей», оказалось, что он в основном состоит из такой же двуокиси кремния, что и лежащие под ним породы, но к тому же содержит окремнелые остатки бактерий и диатомовых организмов.

Когда в лаборатории все это высушили, получилась «губка» массой всего в несколько килограммов. Ее просвечивание методом компьютерной томографии пока-



Карта теплового потока оз.Йеллоустон.

зало, что внутри обломка — целый лабиринт связанных между собой пустот. Ничего сходного в морских «шпилях» видеть не случилось, там в середине сооружения обычно проходит единая труба.

К сожалению, в оз.Йеллоустон не удастся найти ни один «живой» курильщик, тогда как в океанах их множество функционирующих — белых и черных. Нет их и на суше в пределах национального парка — они все уже «отработали» свое.

В то же время в различных уголках озера насчитывается не менее 150 расселин, извергающих горячую воду и газы, которые кишат самыми разными организмами. Во многих расселинах температуры выше, чем в источниках на суше, что обнаружили висконсинские специалисты, многократно погружавшиеся на дно с акваланами. Среди выделяющихся там веществ — диоксид углерода, метан, сероводород, железо, способствующие жизнедеятельности различных микроорганизмов. Кроме того, там присутствуют ртуть, таллий, барий, мышьяк, молибден, бор и литий.

Трещины на дне окрашены по-разному, в зависимости от того, какие микроорганизмы вокруг них поселились. Образцы, доставленные подводным автоматическим судном, позволили обнаружить существование десятков ранее неизвестных штаммов, включая *Thermodesulfovibrio*. Рядом с ними залегают целые маты чаще

встречающихся хемосинтезирующих организмов, таких как *Beggiatoa*, которые прикрепляются к любому подходящему субстрату. Всеми ими питаются мелкие разнообразные гидры, улитки, черви. Сходные виды обычно находятся на мелководье, но здесь, около теплых источников, они располагают большим разнообразием пищи. Очевидно, им удалось адаптироваться и создать свои колонии на глубинах до 100 м.

Все это «население» в свою очередь служит пищей для пиявок, достигающих иной раз 8 см

в длину. Иногда они насмерть ошпариваются, слишком приблизившись к выходу горячей воды. Рядом с одной из расселин, прозванной Форелевой джакузи, наблюдали местную разновидность форели, обычно населяющую холодные воды, при этом рыбы тыкались носом в бактериальный мат. Не было видно лишь гигантских моллюсков и трубчатых червей, обычных вблизи глубоководных расщелин...

Установлено, что в водах Йеллоустона, даже и в стороне от активных расселин, довольно высо-

кая концентрация мышьяка и ртути. Содержание ртути в форели, «возглавляющей» пищевую цепь в озере, оказалось близким к ПДК. Пробы же крови, взятые у нескольких медведей, живущих рядом с озером, показали избыточное содержание этого элемента. У других животных и человека повышение концентрации ртути в крови не зарегистрировано.

В целом оз.Йеллоустон представляет интерес не только для туристов, но и для специалистов, видящих в нем интереснейший объект исследования. ■

## Литература

1. *Krajich K. // Science. 2001. V.292. №5521. P.1479—1480.*

# Крупные магматические провинции океанского дна (183-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)

И.А.Басов,

*доктор геолого-минералогических наук*

*Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН  
Москва*

Крупные магматические провинции, обнаруженные на Земле, Луне, Венере и Марсе, — результат планетарного вулканизма. Их образование связано с подъемами в верхние слои литосферы мантийных плюмов. Этот процесс сопровождается излияниями на поверхность суши или дна океана больших объемов магматического материала в течение относительно коротких исторических периодов и формированием трапповых формаций на суше или обширных подводных базальтовых плато. Крупнейшие магматические провинции — плато Онтонг-Джава в Тихом океане и система плато

Кергелен и Брокен в Индийском. Их изучение важно по нескольким причинам. Они могут дать информацию, во-первых, о составе мантии и динамике ее процессов; во-вторых, о глобальных изменениях среды во время эпизодов активного вулканизма; в-третьих, о характере эволюции самих подводных плато или их фрагментов, которые не поглощаются, как считалось ранее, в зонах субдукции, а присоединяются к континентам и таким образом участвуют в их росте.

Вот почему специальный рейс бурового судна «ДЖОИДЕС Резолюшн» было решено посвятить исследованиям плато Кергелен и Брокен. Они образуют систему, которая сформировалась как еди-

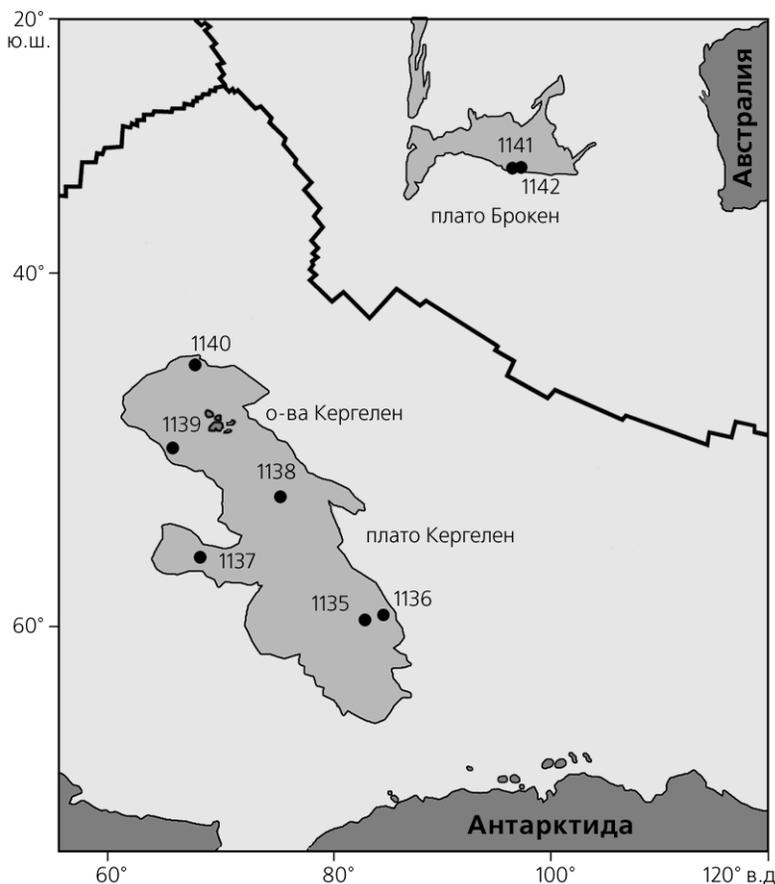
ная магматическая провинция в меловое время в результате подъема Кергеленского мантийного плюма и затем (приблизительно 40 млн лет назад) была разделена развивавшимся Центрально-Индийским срединно-океаническим хребтом на два отдельных плато.

Рейс состоялся на рубеже 1998 и 1999 гг. под руководством американцев М.А.Коффина из Института геофизики Техасского университета в Остине и Ф.А.Фрея из Отдела геологических, атмосферных и планетарных наук Массачусетского технологического института. Программу океанского бурения в рейсе представлял П.Дж.Уоллес [1].

В рейсе предстояло определить возраст и состав вулканических пород, слагающих фундамент системы плато Кергелен и Брокен; изучить мантийные и коровые компоненты в составе вулканитов магматической провинции; выяснить, как вулканическая кора взаимодействует с системой гидросфера—атмосфера—биосфера; реконструировать тектоническую историю провинции, включая механизмы ее заложения и формирования, а также последующих деформаций, которые привели к созданию современной сложной морфологической структуры обоих плато.

Всего в рейсе было пробурено восемь скважин, из них шесть в пределах разных сегментов плато Кергелен (1135—1140) и две — в южной части плато Брокен (1141, 1142). Бурение проводилось главным образом в пределах вершинной части обеих структур в интервале глубин 1004.5 м (скв. 1137) и 2394.1 м (скв. 1140) на плато Кергелен и на глубине около 1200 м на плато Брокен. Максимальная глубина забоя (842.7 м) зафиксирована в скважине 1138, минимальная (91 м) — в скважине 1142. Самые древние осадки (около 105 млн лет), перекрывающие фундамент, вскрыты скважиной 1136, самые молодые (33 млн лет) — скважиной 1139. Все скважины, за исключением одной (1135), вошли в базальтовый фундамент. При этом наибольшее проникновение в него (105.5 м) зафиксировано в самой мелководной скважине 1137. В общей сложности получено около 1143 и 386 м керна соответственно осадков и базальтов.

Предварительный анализ полученных материалов показывает, что возраст верхних слоев базальтов, слагающих провинцию Кергелен—Брокен меняется приблизительно от 110 млн лет в южной части плато Кергелен до 85—95 млн лет в центральной его части и на плато Брокен и до 35 млн лет в северной части плато Кергелен.



Скважины, пробуренные в 183-м рейсе (залитые кружочки с номерами). Жирной ломаной линией показан срединно-океанический хребет.

Темпы излияния магмы и соответственно роста магматической провинции были настолько высокими, что вершинная часть плато в позднемеловое время достигла дневной поверхности, о чем свидетельствуют находки (в разрезе скважины 1138 в центральной части плато Кергелен) фрагментов обугленной древесины в осадках, которые непосредственно перекрывают базальтовые потоки, излившиеся в субэаральных условиях. Ранее подобные фрагменты древесины были встречены также в одной из скважин (скв. 750, рейс 120) в южной части плато.

Заключительная стадия вулканизма, сформировавшего эту провинцию, отмечена взрывными извержениями обогащенных лету-

чими компонентами кислых магм, вероятных продуктов дифференциации базальтов, заполнявших коровые магматические камеры.

Скважина 1137 в центральной части плато Кергелен вскрыла пачку конгломератов мощностью 26 м внутри базальтового разреза, среди их обломков — различные породы континентального генезиса, включая гранатово-биотитовые гнейсы, что указывает на присутствие здесь фрагментов континентальной коры. Последние могут быть результатом переработки континентальной коры при ее погружении в мантию или же смешения базальтовой магмы с коровым материалом, сохранившимся со времени раскола суперматерика Гондвана. ■

## Литература

1. Coffin M.F., Frey F.F., Wallace P.J. et al. // Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. 2000. V.183.

# Памяти ученого, популяризатора науки, педагога

«Я гений», — говорил Игорь Северянин. А Борис Михайлович Медников относил себя к людям среднего уровня. В этом сказывалась его природная скромность. Но хорошо знавшие его люди видели в нем выдающегося биолога, человека энциклопедических знаний и обширнейших научных интересов.

Еще в средней школе он увлекся генетикой и изучил ее в пределах тогдашнего курса высшей школы. Однако, став студентом МГУ, устремился к классическим отраслям естествознания. Окончив университет и работая морским зоологом, он с большим интересом изучал жизнь в разных ее проявлениях. Но первоначальное увлечение генетикой не покидало Бориса Михайловича, а когда наступила эра молекулярной биологии, он погрузился в этот увлекательный и тогда еще мало изведанный мир. Одновременно вел исследования по общей биологии и теории эволюции, которую предпочитал называть дарвинизмом и которая интересовала его до последних дней жизни.

Под знаком эволюции он рассматривал множество экспериментально полученных результатов и находил в них подтверждение идей великого натуралиста Дарвина. Борис Михайлович сумел увидеть общность в эволюции столь разных систем, как языки, феномены культуры и... «язык» молекул наследственности.

Бориса Михайловича привлекала биология на всех ее уровнях — от молекулярного до видового и даже системного. Его экспериментальные работы подчас приводили к прямому выводу в практику. Так, изучив эволю-

цию повторяющихся последовательностей ДНК, он пришел к проблеме происхождения ретровирусов, в том числе вируса СПИДа, и разработал оригинальные методы сверххранной диагностики и терапии этой болезни и даже добился согласия на их клинические испытания.

О способностях Бориса Михайловича как популяризатора науки знают, пожалуй, все биологи. Но и многие смежники читали его книги отнюдь не без увлечения и пользы для себя. Его научно-популярные произведения всегда были продуктом размышлений — касались ли они генетики, проблем общей биологии или разных отраслей эволюционной теории — и результатом занятий в библиотеках, лабораториях, на палубах научно-исследовательских судов. И всегда несли дань уважения к людям — гениальным ученым прошлого, своим учителям и конечно же читателям.

О них Борис Михайлович заботился, пожалуй, как мало кто другой. Он старался сделать текст доступным для усвоения именно теми, кому адресовал ту или иную книгу, тщательно продумывал иллюстрации и богато оформлял ими страницы. А нередко подтверждал научный тезис стихами, правда, не собственного сочинения (хотя и этого не был чужд). Чего стоит, например, приведенная им японская хокку, которая выражает принцип эволюции:

Тихо, тихо ползи,  
улитка, по склону Фудзи,  
вверх, до самых высот!

Книги Бориса Михайловича по теории эволюции — «Дарвинизм в XX веке» (1975), «Аксио-



Борис Михайлович Медников.  
22.IX.1932 — 29.XI.2001.

мы биологии» (1982), «Власть над геном» (совместно с А.А.Богдановым, 1989) — переведены на многие языки: японский, французский, болгарский, вьетнамский, хинди и арабский.

Заботясь о распространении биологических знаний, Борис Михайлович не только писал книги для всех интересующихся биологией и учебные пособия для школ, но и читал лекции: в родном университете (на биологическом и физическом факультетах), в Сельскохозяйственной академии, университетах Алма-Аты и Ташкента, в Московском институте повышения квалификации работников образования.

Борис Михайлович Медников служил науке всей силой своего быстрого ума, но, к сожалению, особыми регалиями обременен не был — ушел из жизни всего лишь в профессорском звании. Видно, и вправду, нет пророка...

# Виртуальная реальность и системы управления

В.А.Ратнер

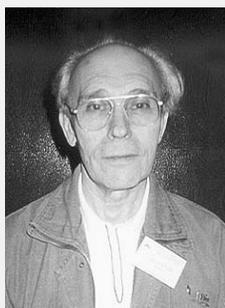
*Воображение важнее знания.*

А.Эйнштейн

## Виртуальный мир компьютеров и мир физической реальности

Виртуальной реальностью обычно называют мир компьютерных образов, с которыми столкнулось человечество. Мир этот, созданный учеными, инженерами, программистами, художниками, используется очень широко: в фильмах и анимациях, в компьютерных играх и теоретических моделях, рекламе и дизайне, криминалистических фотороботах или других продуктах утилитарного, коммерческого и творческого назначения. В восприятии пользователя виртуальная реальность все менее отличается от естественной, а в фантазиях творческих личностей — все чаще отрывается от нее и превосходит активность действия, вселенскими масштабами и кровожадностью обитателей.

В последнее время творческая фантазия художников совершила несколько «выбросов» из мира виртуальной реальности в естественный мир и обратно. Вспомним хотя бы американский фильм «Виртуальная реальность». Надо разобраться, что здесь шутка создателей, а что пустой домысел недоучек.



**Вадим Александрович Ратнер**, доктор биологических наук, Соросовский профессор. Заведующий теоретическим отделом и лабораторией молекулярно-генетических систем Института цитологии и генетики СО РАН. Основные интересы связаны с математической генетикой и теорией молекулярной эволюции молекулярно-генетических систем.

Для пользователя граница между объектами естественной реальности и образами компьютерного мира действительно очень размыта. Почему бы не перейти ее в узком месте?

Слово «виртуальный» обычно переводится как «возможный». Однако в компьютерной практике оно приобрело иной смысл — это мир информационных образов. Главное его отличие от соответствующих естественных объектов в том, что для него не обязательны законы естественной природы в широком смысле. Речь идет, конечно, не о физических законах, использованных для работы компьютерной техники, электроники (с этим все в порядке), а о по-

ведении компьютерных образов. Их трудно назвать объектами, ведь объект материален. Здесь лучше подходит английское слово «entity» (назовем их образами). Пользователю, зрителю или программисту с самого начала ясно, что для реальных объектов необходимо соблюдение объективных и присущих самой природе законов физики, химии, биологии и т.д. Для компьютерных образов, имитирующих реальные объекты, исполнение законов природы не обязательно (они задаются или отменяются самим автором).

Известно, что в физическом пространстве два материальных объекта, имеющих массу покоя,

© В.А.Ратнер

не могут одновременно находиться в одной точке: они или объединены, или альтернативны. А в компьютерном мире виртуальные образы спокойно проходят друг сквозь друга, если специально не заданы законы их столкновений. В реальном пространстве все объекты подвержены действию силы тяготения, а в компьютерном — ничего не стоит выключить отдельный образ из действия виртуальной «силы тяжести». Так же легко можно обратить виртуальные процессы во времени; преобразовать виртуальный образ, имитирующий определенное биологическое существо, в другой образ, подобный любому другому объекту природы; имитировать любое чудо или волшебство, что невозможно в реальной жизни.

Я очень люблю телевизионную передачу «В мире животных», но больше всего — ее анимационную заставку, в которой эти животные танцуют: птицы порхают вполне правдоподобно, а обезьяны летают по замысловатым траекториям, доступным только пернатым.

Итак, виртуальная реальность компьютерных образов не требует обязательного соблюдения законов имитируемого физического мира. Творец этого виртуального мира должен чувствовать себя богом, поскольку сам создает его законы. Недаром люди со слабой психикой часто удовлетворяют потребность властвовать именно в компьютерном мире, где не встречаются сопротивления.

### Посредник — виртуальный мир человеческого мозга

Поняв основное отличие виртуальной реальности компьютерных образов от естественных объектов, мы обнаружим, что между ними стоит посредник, оперирующий обоими мирами и их соответствиями. Это сам человек, мозг которого

тоже своего рода биологический компьютер, т.е. своеобразная система управления, формирующая виртуальные образы, понятия и другие информационные образования. Различия организации мозга и компьютера в данном случае роли не играют.

Виртуальный мир информационных образований человеческого мозга богат и операбелен. Он имеет: язык записи и исполнения информации; личностную основу; базовый, оперативный и долгосрочный архивы информации; блочно-модульное построение сложных информационных образований из более простых и т.д. Ясно, что в этом виртуальном мире соблюдение законов реальной действительности тоже не обязательно, что открывает широкие возможности для творчества, иными словами — для полета фантазии. Критериями отбора информационных продуктов мозга могут служить как их соответствие объектам и отношениям реальной действительности (наука), так и любые другие формы поощрения: вдохновение, успех первооткрывателя, художественное совершенство, озарение, религиозный экстаз, психологический комфорт, самоутверждение, обогащение, патологический императив и т.д.

Перечислим наиболее явные, хотя иногда спорные, информационные продукты человеческого мозга, известные нам и построенные на основе следующих подходов и критериев: язык; личность, характер, менталитет; сознание, разум; интуиция; душа; гений, талант; эмоции, в том числе — самоощущение, боль, радость; знание, наука, особенно — математика; вера, религия, в том числе — бог; картина мира; мировоззрение; моделирование; художественное творчество, в том числе — живопись, музыка, литература, лицедейство; мораль, этика; эстетика; фантастика; сновидения; гипноз; психические расстрой-

ства, галлюцинации; экстрасенсорика и др. Как бы ни были строги и конкретны определения этих образований, они лишь информационные продукты! Психопродукция — виртуальная реальность, данная нам в ощущениях! Таким образом, виртуальный, информационный мир человеческого мозга тоже имеет богатые возможности, чтобы игнорировать законы имитируемого им реального мира.

### Базис — информационный мир генетической организации

В основе кибернетической организации клетки и организма (индивидуума) лежит молекулярно-генетическая система управления (МГСУ), обладающая своим миром информационных сущностей [1, 2, 4]. Наиболее фундаментальные и важные среди них — гены, функциональные сайты, опероны, генетические сети, мобильные элементы, каталитические активности, специфичность, программы онтогенеза, генетический язык, в том числе — генетический код, и др.

Информационный мир МГСУ имеет ряд специфических особенностей. В кибернетике, лингвистике «идеальный символ» можно считать семантически произвольным: его смысл полностью задается автором и не зависит от материального воплощения. В молекулярной кибернетике дело обстоит не так. Многие особенности модулей, систем зависят от материальных свойств носителей информации и не могут приписываться им произвольно. Так, символы генетического НК-языка, нуклеотиды, обладают комплементарностью (А—Т, G—C), которая играет важнейшую роль в матричных информационно-генетических процессах и не может произвольно изменяться. То же самое касается основных

свойств символов ПП-языка — аминокислот: размер и полярность задаются их молекулярной структурой. Функциональные (семантические) свойства глобулярных белков определяются их пространственной структурой. Программы онтогенеза записаны в геноме организма и клетки через их внутреннюю структуру и возникающую на ее основе специфичность отношений и взаимодействий (генетические сети).

Другая особенность МГСУ состоит в том, что она предназначена для технических целей: формирования «элементной базы» (в первую очередь — биополимеров и их комплексов), ее функционирования и воспроизведения. Генетическая память клетки и организма содержит информацию о внешнем реальном мире только в виде записей специфического узнавания и переработки внешних молекулярных объектов и о функциональном ответе некоторых специализированных систем (физиологических, иммунных и др.) на более сложные внешние воздействия. Особо важную роль играет мозг, способный выполнять не только технические функции, но и аналитические, прогностические и др., а также отвлеченно-интеллектуальные. Функции мозга фактически универсальны, а функции МГСУ ограничены.

## Место для бога

Рассмотрим более детально некоторые свойства виртуального мира человеческого мозга. Появление таких систем управления с мощным спектром информационных функций — несомненное эволюционное приобретение, позволившее оперативно управлять поведением, анализировать и прогнозировать ситуации, т.е. выживать в сложных условиях существования.

Особенность нашей концепции состоит в том, что все пере-

численные продукты деятельности человеческого мозга (язык, мировоззрение, картина мира, религиозные убеждения и т.п.) только информационные образования.

Человеческий мозг содержит виртуальный образ окружающей действительности в той мере, в какой с ней соприкасается и как сам того желает. Картина мира, мировоззрение должны быть адекватны реальной жизни, только тогда они способствуют выживанию индивидов. Однако виртуальные образы всегда имеют личностные характеристики, содержат продукты творчества, фантазии, гипотезы, случайные особенности. Они постепенно объективизируются, фантастические или гипотетические особенности стираются и заменяются информационными продуктами опыта и науки.

Реальный мир велик и необъятен, а информационные ресурсы человеческого мозга в принципе конечны. Значит, рано или поздно в информационной картине мира возникнет проблема отношения к несопоставимому, которая потребует особого решения [5]. Переход от индивидуальных систем управления мозга к мировой сети лишь отодвигает решение проблемы, но не снимает ее.

Например, человек во всех стихиях сталкивается с непреодолимыми, несопоставимыми явлениями и объектами: бескрайними океаном или степью, пустыней или тайгой, горной вершиной, континентом; неукротимым штормом, молнией, тайфуном, цунами; Солнцем, Лунной, звездами, космосом. Кроме того, существуют такие явления, как жизнь и смерть, гениальность, власть, маловероятный случай и т.п. Даже само их существование несопоставимо со шкалами человеческого мозга. Тем не менее их надо как-то обозначить и определить свое отношение к ним. Решить эти задачи человек быстро не может, а «застрывать» на них нет

времени. Остается изолировать такие вопросы доступными средствами. Искушенный человек (имеющий опыт научного подхода) ставит в этом месте соответствующий информационный объект, понятие, выражающее несопоставимость, несоизмеримость: бесконечность, вечность, случай, очень большое или сложное. Иначе говоря, откладывает решение проблемы на завтра. Неискушенный человек обращается к неподвластным ему образам: богу, черту, судьбе, мировому разуму и т.п., наделяя их чрезвычайными полномочиями. Он склоняется перед ними, признает свое бессилие, говоря иначе — просто отказывается от объяснения.

Таким образом, в реальной природе для бога нет места, оно «забронировано» ему в информационной картине мира. Бог и его культ (религия, вера) — продукты мозга, не обладающие реальной силой или властью, но способные существенно влиять на поведение человека, который наделяет их сверхъестественной силой и властью, позволяя им не подчиняться законам природы (чудеса, волшебство). Однако в пределах виртуального мира человеческого мозга эти образования могут определять критерии жизни и смерти, веры, морали, права, власти, личности, таланта, т.е. быть базовыми.

То же самое относится к понятию «мировой разум». Вне систем управления или связывающих их материальных носителей информации (физических полей и т.п.) нет разума. Только во взаимодействии с системой управления состояние материального носителя может быть признано информационным образованием. Значит, не может быть никакого абсолютного разума, создавшего природу. Для существования таких вселенских виртуальных сущностей, как бог, абсолютный разум, надо, чтобы Вселенная была не просто астрофизической системой взаимодействующих форм

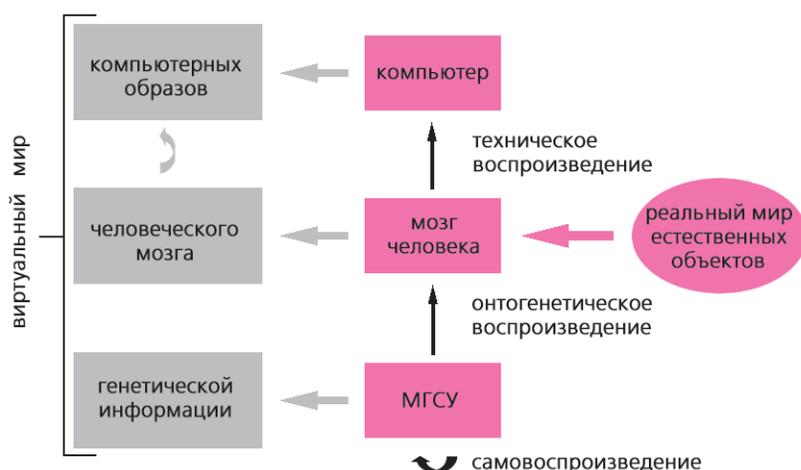


Схема отношений миров и систем управления. Реальный мир естественных объектов материалов и подчиняется естественным законам. Виртуальный мир — результат человеческого мозга — во многом соотносится с физической реальностью, но его сущности, имитирующие реальные объекты, не обязательно подчиняются законам физики, химии, биологии и т.д. Виртуальный мир компьютера создан человеком адекватно виртуальному миру своего мозга, а через него — реальному миру. Обычно контакт между двумя мирами осуществляет сам человек (оператор, программист), однако он может поручить его автоматизированной системе. Виртуальный мир информационных сущностей молекулярно-генетической системы управления (МГСУ) функционально связан с объектами реального мира. Его законы ограничены физико-химическими законами материального мира. Оператор может создавать соответствующие виртуальные подсистемы в компьютере и поручить прямое взаимодействие виртуальных образований МГСУ и компьютера автоматизированной системе. Системы управления могут объединяться в сети. Объединение виртуальных миров мозга многих людей некомпьютерными средствами создает знание, науку, библиотеки и др. Сети компьютеров образуют виртуальный мир Интернета, к которому присоединены также виртуальные миры всех пользователей, т.е. значительной части человечества. МГСУ дифференцированных клеток одного организма тоже образуют сеть. Однако индивидуумы редко образуют сети своих МГСУ, обычно они изолированы и автономны. Развитие и разумная эксплуатация всех этих информационных образований сулит человечеству новые неожиданности и успехи, недооценка — трудности и проблемы.

материи, а огромной системой управления, подчиняющейся определенным принципам. В частности, слабые физические сигналы должны хотя бы изредка вызывать несопоставимые физические последствия (а этого до сих пор не замечено). Пока все, что происходит в видимой Вселенной, удовлетворительно описывается аст-

рофизическими процессами. Кроме того, скорости распространения физических полей и предметов (потенциальных носителей информации) ограничены, конечны. Они не могут обеспечить информационный контакт между отдаленными зонами Вселенной, более быстрый, чем сами физические взаимодействия.

## Особенности и возможности виртуальных миров

Каждая система управления имеет свои технические (физиологические, физико-химические) параметры, влияющие на работу информационных образований. Так, у компьютеров ограничен объем памяти, определенная скорость исполнения операций, помехоустойчивость, гарантийный срок и т.п. В мозге человека число нейронов ограничено, параметры нервных процессов, влияющих на память, способность к обучению, художественному творчеству, склонность к патологии, параметры старения генетически контролируются. У МГСУ активность ферментов, специфичность узнавания, скорости реакций и т.п. также контролируются генетически.

Таким образом, информационные образования систем управления, имеющие общие свойства, всегда как бы «окрашены» в индивидуальные «цвета». Различные МГСУ и мыслительные системы человека составляют значительную часть генетического разнообразия, оцениваются отбором и играют важную роль в эволюции популяций.

Очевидные индивидуальные характеристики особенно наглядны на примере таких информационных образований человеческого мозга, как личность, душа, характер, менталитет, художественное творчество и др. Накопив достаточно большую информацию о человеке, его способностях, характере, личных параметрах, можно создать динамическую компьютерную имитацию, с которой можно иметь активный информационный контакт (вести беседы, ставить задачи, получать ответы и т.д.). Сопроводив интеллектуальную часть индивидуальными эмоциями и движущимся изображением конкретного человека, имитацию можно длительно поддерживать уже

без оригинала — перенести на любой компьютер, внедрить в любой человеческий мозг, передать на расстояние.

Страшно сказать, но это означает принципиальную реальность отделения личности, души и тому подобных информационных продуктов от исходного человека-носителя и переселение их в другие системы управления! Ясно, какую угрозу представляет такая возможность для человечества (если не будет юридически урегулирован статус виртуальных явлений) и какую радость она принесет близким и родным человека, который безвременно умер!

## Эволюционные аспекты

Итак, согласно нашей концепции, все виртуальные миры вместе со своими системами управления могли возникнуть только эволюционно. Вероятно, в ходе формирования ранней Вселенной какие-либо сложные формы материи не существовали, а относительно простые объекты реального мира еще не обладали свойствами управления.

Наиболее ранние системы управления — МГСУ, основа биологической организации. Ее базисные компоненты (ДНК, РНК, белки) обладают фундаментальным свойством: их функции существенно зависят от порядка входящих мономеров. Из очень ограниченных алфавитов (четыре типа нуклеотидов и 20 типов аминокислот) путем комбинаторики линейных последовательностей можно получить астрономическое (а фактически — неограничен-

ное) количество текстов, кодирующих разные молекулярные функции.

В физическом мире ранней Вселенной, видимо, таких молекул не было, они могли появиться в результате физико-химической комбинаторики. С одной стороны, поле для поиска функциональных вариантов открыто. С другой — при случайном переборе последовательностей достаточная «элементная база» за разумные периоды времени не сформируется. Реальный путь ее появления мог проходить в три этапа: блочно-модульный перебор вариантов последовательностей из уже имеющихся функциональных фрагментов, отбор тех вариантов систем, где выше вероятность воспроизведения, «запоминание» отобранных вариантов (наследование). Тогда за разумное время добиологическая эволюция привела бы к образованию молекулярных систем самовоспроизведения, составляющих «ядро» МГСУ.

Итак, молекулярно-генетические системы управления — наиболее ранние. Их появление совпадает с возникновением жизни (протоклеток) ~4–3.5 млрд лет назад. МГСУ и их виртуальный мир возникли самопроизвольно, без внешнего «архитектора и строителя». Фактически речь идет о самовоспроизведении базиса молекулярно-генетической организации клеток. Остальные типы систем управления и их виртуальные миры возникают уже при обязательном участии МГСУ, обеспечивающей их воспроизведение.

Дальнейшее эволюционное развитие молекулярно-генетической системы управления

и биологической организации идет по блочно-модульному принципу. В ходе отбора формируются иерархическая организация со все возрастающими и усложняющимися функциями. На ее верхних этажах, у многоклеточных, появляется специализированная и быстродействующая система управления, накопления опыта и анализа условий существования — мозг.

Сначала его функции примитивны, но постепенно, путем генетической изменчивости, наследования и отбора в целом, они наращиваются и дают обладателю все большие преимущества. Мозг — широкое эволюционное приспособление, позволяющее выполнять сложные аналитические и даже прогностические функции. Это можно сделать только на основе развития мощного виртуального мира — памяти, языка, сознания, интуиции и других атрибутов информационной деятельности. Именно такие функции мозга сделали *Homo sapiens* доминирующим видом: он достаточно быстро заселил все континенты и подчинил себе продуктивную и иную деятельность других форм.

Наконец, в ходе развития социума, производства человек наталкивается на лимитирующие факторы системы управления мозга и осознанно пытается преодолеть их с помощью технических средств. Так, он изобретает компьютер с расширяющимися интеллектуальными способностями и виртуальным миром. Воспроизведение компьютеров выполняется в ходе их производства под контролем человека или в автоматическом режиме. ■

## Литература

1. Ратнер В.А. Концепция молекулярно-генетических систем управления. Новосибирск, 1993.
2. Ратнер В.А. Молекулярно-генетическая система управления // Природа. 2001. №3. С.16—22.
3. Ratner V.A., Zbarkikh A.A., Kolchanov N.A. et al. // Molecular Evolution. Berlin, 1996.
4. Ratner V.A. The Genetic Language // Internat. Conference on BioInformatics. Magdeburg, 1999. Report.
5. Колмогоров А.Н. Автоматы и жизнь // Очерки истории информатики в России / Ред. Д.А.Поспелов, Я.И.Фет. Новосибирск, 1998.

# «Нобелиана» Дмитрия Менделеева

А.М.Блох,  
доктор геологических наук  
Москва

На заседании бюро Отделения физико-математических наук АН СССР 1 ноября 1955 г. был заявлен отказ от выдвижения советских ученых на Нобелевскую премию 1956 г. (в протоколе это пункт 19). Мотив такой: «Эту премию нельзя считать международной ввиду того, что Нобелевский комитет в свое время не считал нужным присудить эту премию выдающимся деятелям науки и культуры нашей страны (Д.И.Менделеев, Л.Н.Толстой, А.П.Чехов, М.Горький)» [1].

Предыстория документа подробно анализировалась [2]. Здесь же, не касаясь упомянутых в нем трех русских писателей, сосредоточимся на обстоятельствах, имеющих отношение к создателю Периодической системы элементов. При этом будут использованы прежде всего неизвестные в России документы из архивов Королевской академии наук в Стокгольме, с которыми автор получил возможность ознакомиться лично\*.

\* Считаю приятным долгом поблагодарить исполнительного директора Нобелевского фонда Михаила Сульмана, профессора истории науки Уппсальского университета и редактора ежегодника «Les Prix Nobel» Торе Френгсмиора и секретаря Нобелевского комитета по физике Андерса Барани за предоставленную завидную возможность пользоваться архивами нобелевских учреждений Королевской академии наук.

Дмитрий Иванович Менделеев, скончавшийся 73 лет от роду 2 февраля 1907 г., номинировался (выставлялся) на Нобелевскую премию (которая, напомним, присуждается с 1901 г.) трижды — в 1905, 1906 и 1907 гг. Вызывает удивление, что среди его номинаторов (ученых, наделенных правом выдвигать кандидатов) не оказалось ни одного соотечественника. Причины для того было немало, в том числе сугубо субъективных. Говоря в своих мемуарах о причинах отказа «к стыду нашей академии» избрать Менделеева в действительные члены Императорской академии наук, С.Ю.Витте отметил, что происходило это в немалой степени «вследствие довольно тяжелого характера» [3] ученого\*\*.

Однако существовала и вполне объективная составляющая, ограничивавшая возможность его выдвижения на Нобелевскую премию. Дело в том, что одним из главнейших требований в течение первых четырех десятилетий функционирования нобелевских учреждений была непрременная новизна открытия. Это требование, повторенное

\*\* Министр финансов Витте хорошо знал Менделеева, поскольку в последние 15 лет его жизни, когда Менделеев занимал должность директора Главной палаты мер и весов, был его непосредственным начальником.

в уставе, предусмотрел сам Альфред Нобель в своем завещании\*\*\*. И оттого научный прорыв Менделеева в создании Периодической системы элементов, датируемый 1869 г., когда он опубликовал свой «Опыт системы элементов, основанный на их атомном весе и химическом средстве», никак не укладывался в прокрустово ложе строго выполнявшегося устава.

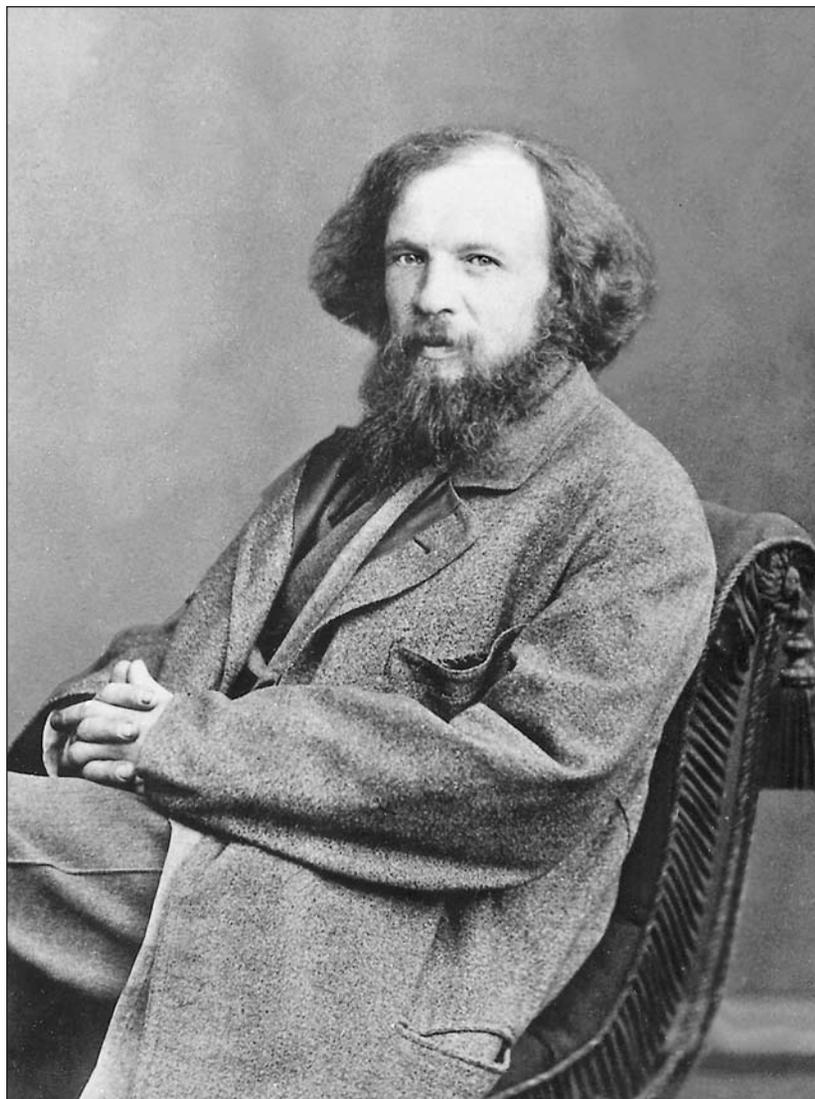
В 1904 г. решения нобелевских комитетов по физике и химии приоткрыли шлагбаум перед возможным присуждением Нобелевской премии автору Периодической системы элементов. В том году английские ученые Джон Уильям Стретт (лорд Рэлей) и Уильям Рамзай удостоились нобелевских наград: первый — по физике «за исследование плотностей наиболее распространенных газов и за открытие аргона в ходе этих исследований», второй — по химии «в знак признания открытия им в атмосфере различных инертных газов и определения их места в Периодической системе». Решение Королевской академии наук было вполне обоснованным. Представляя

\*\*\* «...Мои душеприказчики должны перевести капитал в ценные бумаги, создав фонд, доходы от которого будут выплачиваться в виде премий тем, кто за предшествующий год (курсив мой. — АБ.) внес наибольший вклад в прогресс человечества».

10 декабря 1904 г. лауреата по химии Рамзая, президент академии профессор Йохан Цедерблом с полным правом мог заявить, что «открытие совершенно новой группы элементов, ни один из представителей которой не был точно известен ранее, — это совершенно уникальное явление в истории химии» [4].

Появление нового семейства элементов научный мир на переломе веков, когда прошла череда открытий благородных газов, воспринял как погребальный звон по менделеевской таблице. Однако после тщательного анализа принципов, использованных при ее построении, Рамзай и Рэлей не только определили в ней место для новой группы, которая включала тогда в себя гелий, неон и аргон, но и предугадали существование других элементов, еще неизвестных к тому времени. Тем самым была подтверждена фундаментальная значимость закономерностей, постулированных Менделеевым три с половиной десятилетия назад, и показано, что заложенные им принципы отражают объективные законы природы.

В эпохальном открытии переходной группы элементов, обозначенной Рамзаем как нулевая, в той роли, какую сыграла Периодическая система в теоретическом обосновании открытия, о чем не забыли упомянуть шведские академики в формуле присуждения премии по химии, и содержалась та зацепка, коей не замедлили воспользоваться для номинирования Менделеева трое ученых из Голландии, Германии и Швеции. Выдвинули они его на премию 1905 г., опираясь в аргументации на второй параграф Устава Нобелевского фонда. В последнем констатировалось, что наряду с самыми свежими научными результатами предметом для рассмотрения могут стать и более ранние работы, если их значимость нашла подтверждение в последовавших новых открытиях.



Дмитрий Иванович Менделеев. 1878 г.

Фото С.Левицкого

Принадлежали упомянутые номинации нидерландскому химику, профессору Берлинского университета и лауреату Нобелевской премии 1901 г. Якобу Вант-Гоффу, немецкому химику Оскару Хертвигу и председателю Нобелевского комитета по химии, профессору Стокгольмского университета Свену Отто Петтерссону. Говоря об открытии Менделеевым Периодической системы элементов, Вант-Гофф, в частности, подчеркнул, что недавние обнаружения инертных газов «устра-

нили всякие сомнения» в фундаментальности этого давнего достижения. В России, увы, такие аргументы в голову никому не пришли ни в 1905 г., ни в последовавшие два года.

Первые номинации Менделеева Нобелевский комитет принял с энтузиазмом. Его кандидатура сразу была включена в так называемый малый список претендентов, который формируется после предварительной селекции полученного массива предложений. Помимо Менделеева в этом списке оказались



Кабинет Менделеева в Санкт-Петербургском университете.

профессор из Мюнхена Адольф фон Байер, автор новаторских работ по органической химии, и парижский профессор Анри Муассан, один из основоположников электрометаллургии, первооткрыватель и исследователь фтора и его соединений, создатель электрической дуговой печи, с помощью которой им был впервые синтезирован карбид кальция. К такому решению комитет единодушно пришел 12 апреля 1905 г., а 25 апреля поручил своим членам профессорам Видману, Петтерссону и Класону тщательно изучить представленные на премию работы фон Байера, Менделеева и Муассана.

В том году выбор Нобелевского комитета пал на кандидатуру фон Байера. В решении от 23 сентября 1905 г., принятом единогласно всеми пятью членами комитета, констатировалось, что заслуги мюнхенского профессора признаны во всем мире и «многие наиболее влиятельные авторитеты в области химии начиная с 1901 года неизменно выдвигали кандидатуру Байера». Решение это получило в комитете дружную поддержку еще и потому, «что его (комитета. — А.Б.) ныне покойный член профессор Клеве в письменном обращении, переданном 12 апреля, заявил об отказе от своей поддержки Муассана в пользу

фон Байера». В том же решении члены комитета сформулировали свое мнение относительно двух других претендентов из малого списка.

«Что касается научных заслуг Менделеева и Муассана, — говорилось далее, — то комитет, понимая важное значение экспериментальных работ Муассана, приходящихся на последние десятилетия, и полученную им широкую поддержку, все же не может не отметить, что их нельзя сравнить с достижениями Байера и Менделеева в плане их влияния на развитие химической науки в целом. При выборе между фон Байером и Менделеевым комитет принял во внима-

ние, что Периодическая система элементов Менделеева в самое последнее время была дополнена и подтверждена открытиями Рамзая и Рэлея так называемой нулевой группы, или инертных газов. Эти подтверждения были сделаны только недавно и не успели получить такой поддержки в комитете и за его пределами (подразумевается прежде всего Королевская академия наук, учреждение-наделитель премий по химии. — А.Б.), коей в течение ряда лет пользовался фон Байер» [5; л.159].

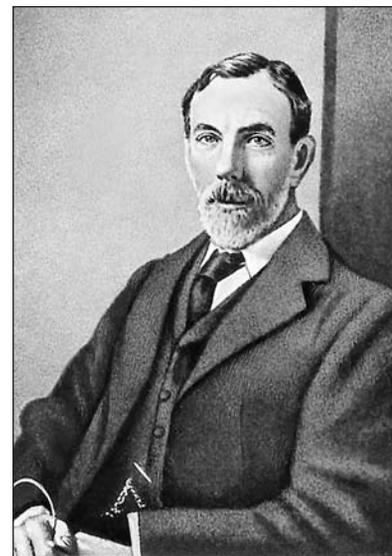
В этих осторожных формулировках сокрыты возникшие в комитете разногласия по поводу кандидатур фон Байера и Менделеева. В итоге победила фигура Байера, чего и следовало ожидать. Мюнхенский профессор уже пятый год входил в списки номинантов, тогда как русский номинант появился на горизонте впервые. Можно сказать, что до Байера попросту дошла негласно установившаяся очередь, а Менделеева решили, опять же негласно, поддержать до следующего года. Тем более что соперники были почти ровесниками. Менделеев родился в 1834 г., а фон Байер — в 1835-м. То есть право Менделеева на Нобелевскую премию сомнению, видимо, не подвергалось, оспаривалась только очередность. Оттого в малом списке 1905 г. его фамилия располагалась на втором месте, после фон Байера, но перед Муассаном. Большое впечатление глубиной аргументации производит представление Отто Петтерссона, одного из крупнейших специалистов по химии германия, существование которого, под именем экасилиция, Менделеев предсказал задолго до открытия металла К.Винклером в 1886 г. Петтерссон убедительно и даже эмоционально обосновал право автора Периодической системы на Нобелевскую премию. В заключение он обратил внимание коллег на еще неполную исчерпанность ресурса таблицы Менделеева.

«Новые открытия радиоактивных веществ позволяют ожидать еще большего расширения его системы. Но тогда, вероятно, его уже не будет в живых. Полагаю за долг современных химиков, пока есть время и прекрасный повод, воспользоваться случаем, который, возможно, больше не представится, и оказать честь автору самой глубокой и плодотворной научной идеи».

Понимая законные опасения коллег по комитету породить нежелательный прецедент с награждением за давнее открытие, Петтерссон продолжил свои доводы: «Не следует бояться, что за присуждением ему премии последуют рутинные присуждения за старые работы. Открытие Менделеева занимает особое место в истории науки и никогда не станет поводом для подобных злоупотреблений. Ясно также, что глубокие, имеющие масштабное значение открытия требуют длительного времени, чтобы быть оцененными по достоинству» [5; л.213—214].

В 1906 г. к прошлогодним номинаторам Менделеева подсоединился профессор из Лейпцига Роберт Лютер, ближайший сподвижник и соавтор Вильгельма Оствальда по классическому труду «Физико-химические измерения», в 90-е годы преподававший в Петербургском технологическом институте. Как и в предыдущем году, первыми в малом списке оказались Менделеев и Муассан. К ним подсоединились еще два номинанта — немецкий физикохимик Вальтер Нернст и французский химик-органик Виктор Гриньяр.

Вокруг этих претендентов в комитете развернулись длительные дискуссии. Главным предметом расхождений, естественно, оказался вопрос о соответствии открытия 30-летней давности уставным требованиям. Чтобы помочь коллегам ознакомиться с обстоятельствами, сопутствовавшими созданию менделеевской таблицы, Петтерссон подготовил для внут-



Уильям Рамзай, получивший Нобелевскую премию за открытие инертных газов и определение их места в Периодической системе.

реннего пользования пространное заключение, в котором детальной образом проследил и приоритетные хитросплетения и заложенные в Периодической системе русского ученого непреходящие основополагающие принципы [6; л.102—114].

Заклучил Петтерссон свой просветительский трактат следующим выводом: «Система Менделеева подвергалась испытаниям в период интенсивного развития химии с 80-х годов до нашего времени. Она сумела объединить в своих рамках все главные аспекты крупных открытий последних лет и продемонстрировала ранее казавшиеся немислимыми возможности саморазвития. Таким образом, имеются причины использовать то право, которое предусмотрено §2 Устава Нобелевского фонда и дает возможность Академии наук отметить премию старую работу <...> и присудить ее бывшему профессору университета в Санкт-Петербурге\* доктору Дмитрию Менделееву».

\* Менделеев покинул университет в 1890 г. в знак протеста против политики министра народного просвещения И.Д.Делянова.



Профессор Отто Петтерссон, самый настойчивый пропагандист заслуг Менделеева, неоднократно выдвигавший его на Нобелевскую премию, аргументируя тем, что открытия Рэлея и Рамзая доказывают гениальный вклад русского ученого в мировую науку.

26 сентября 1906 г. Нобелевский комитет по химии подтвердил большинством в четыре голоса против одного свое решение 1905 г. о том, что условия §2 устава применимы к кандидатуре русского ученого, научное достижение которого не утратило своей актуальности 30 лет спустя и продолжает быть «путеводной звездой при научных исследованиях». Поэтому комитет рекомендует присудить премию по химии за 1906 г. «бывшему профессору С.-Петербургского университета доктору Дмитрию Менделееву в знак признания его заслуг в развитии науки благодаря созданию Периодической системы элементов» [6; л.100].

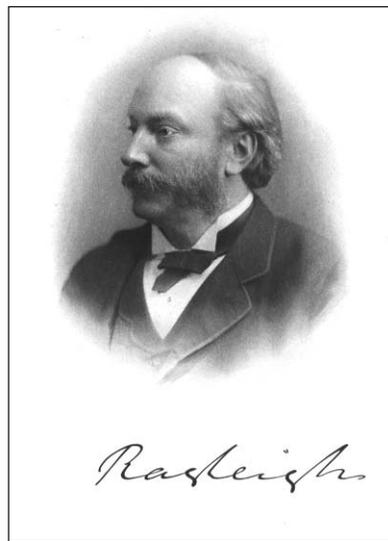
Пятым членом Нобелевского комитета, тем, кто не поддержал кандидатуру Менделеева, был профессор органической химии Петер Класон; в 1905 г. комитет поручал ему экспертизу научных работ Муассана. Уже в том году он настаивал, чтобы

кандидатура французского номинанта была перемещена в малом списке с третьего места на второе. Неизменной осталась его позиция и теперь.

Поэтому постановление комитета от 28 сентября было сопровождено дополнительной рекомендацией на тот случай, если вариант с награждением давнего открытия не найдет поддержки у членов учреждения-наделителя. Рекомендация эта формулировалась так: «Если Академия наук, как и меньшинство комитета, посчитает, что в данных обстоятельствах использование права на присуждение премии за старые работы <...> неправомерно, то комитет единогласно пришел к мнению, что следующим после Менделеева должен идти профессор Парижского университета Анри Муассан, и его кандидатуру следует рассматривать в первую очередь» [6; л.101].

По утвержденному статусу обсуждение в учреждениях-наделителях рекомендаций нобелевских комитетов не протоколируется, а бюллетени для голосования после подсчета голосов уничтожаются. Можно потому только гадать, что заставило голосующих академиков не прислушаться к мнению большинства Нобелевского комитета и к приложенному обстоятельному заключению Петтерссона. В наибольшей степени, надо думать, могло повлиять опасение создать прецедент. Только во второй половине 30-х годов наконец созрело понимание, что, сохраняя принцип запрета на награждение старых работ, институт Нобелевских премий методично загоняет себя в неодолимый тупик. Что только отказ от этого устаревшего правила может придать нобелевскому движению действительно универсальный характер.

В первый раз Королевская академия наук отказалась от принципа новизны предмета награждения в 1937 г. Именно тогда Нобелевская премия по физике была присуждена американцу



Лорд Рэлей (Джон Уильям Стретт), лауреат Нобелевской премии 1904 г. за открытие аргона.

Клинтону Дэвиссону и англичанину Джорджу Паджету Томсону за экспериментальное открытие дифракции электронов на кристаллах, которое состоялось в середине 20-х годов.

Но едва ли предвыборные дискуссии, проходившие в октябре 1906 г., ограничились только обсуждением второго параграфа.

Как уже говорилось, кандидатура Анри Муассана появилась в списках Нобелевского комитета по химии уже в 1901 и 1902 гг. В обоих случаях его номинировал Пьер Бертло, химик с мировым именем. В последующие 1903 и 1904 гг. к соотечественнику номинанта присоединились англичанин Рамзай и еще несколько иностранных профессоров. Отсутствие кандидатуры Менделеева в эти годы вполне объяснимо: как явствовало из вышеизложенного, старт для его номинирования мог состояться только в 1905 г., после награды Рамзая и Рэлея.

Но вот какая картина сложилась в 1905 г. Менделеев получил свои первые три номинации, у Муассана же их двадцать две! И какие имена: ставший

в том году нобелевским лауреатом А.фон Байер, лауреаты премий 1902 и 1904 гг. Э.Фишер и У.Рамзай, всемирно известный норвежский геохимик В.Гольдшмидт, виднейший русский специалист по химической кинетике Н.А.Меншуткин. Нет бы вспомнить ему о великом соотечественнике, как вспомнили о нем после нобелевских наград 1904 г. иностранные коллеги\*...

В том же 1905 г. среди номинаторов Муассана появляется фигура, оказавшаяся, пожалуй, ключевой. Это упоминавшийся выше член Нобелевского комитета, вскоре ставший президентом Королевской академии наук, профессор химии Стокгольмского технологического института Петер Класон.

В 1906 г. число номинаций в пользу Муассана поменьше — всего восемь. Но и общее число номинаций, поступивших в комитет по химии, существенно меньше предыдущего года —

\* Меншуткин много лет был знаком с Менделеевым и неизменно отдавал ему должное как выдающемуся ученому. Можно предположить, что, получив приглашение быть номинатором Нобелевского комитета по химии на премию 1907 г., он не придавал значения награждениям 1904 г. и не осознал, что они открывают дверь для выдвижения кандидатуры его петербургского коллеги.

только 19 (в 1905 г. их было 41). Однако качественный состав номинаторов французского претендента не менее весом. Три лауреата Нобелевской премии — химики фон Байер, Рамзай и лауреат премии по физике 1905 г. Филипп Ленард. Разве такой букет звучных фамилий мог не произвести впечатления на голосующих академиков, когда они заполняли полученные бюллетени?..

В 1907 г. в комитет поступили еще две номинации, в которых называлось имя Менделеева. Одна от нобелевского лауреата фон Байера, другая — от профессора Университета в Бреслау А.Ледерберга, химика и историка химической науки. В первой номинации вместе с автором Периодической системы был назван итальянский профессор, один из создателей атомно-молекулярной теории Станислао Канниццаро. Ледерберг предложил разделить нобелевскую награду между Менделеевым и Пьером Бертло. Но то, что могло стать своевременным в 1905 и 1906 гг., когда, по словам Петтерссона, существовал «великолепный повод, чтобы оказать честь автору самой глубокой и плодотворной

научной идеи», безвозвратно было упущено в 1907-м.

2 февраля великого ученого не стало. Хотя формальные обстоятельства не мешали новому рассмотрению его кандидатуры, поскольку смерть наступила после завершения приема номинаций на текущий год, т.е. после 31 января 1907 г., в сложившейся ситуации эта процедура теряла свой рациональный смысл\*\*.

Уместно еще раз обратить внимание на то, что отстаивали великое открытие и приоритет русского мыслителя лишь иностранные ценители его творчества, шведы прежде всего. Что же касается отечественного научного сообщества, то оно, по свидетельству С.Ю.Витте, всколыхнулось «только тогда, когда он умер» и когда «начали кричать, что мы потеряли великого русского ученого. Хорошо еще, что россияне отдали ему эту честь после смерти его, хотя для Менделеева было бы приятнее, если бы были оценены его достоинства во время его жизни» [3]. ■

\*\* Две с половиной недели спустя после кончины Менделеева, 20 февраля, умер и его более удачливый соперник по премии 1906 г. Анри Муассан.

## Литература

1. Архив РАН. Ф.579. Оп.1. Ед.хр.639. Л.32.
2. Блох А.М. Загадка 19-го пункта // Поиск. 1998. №31—32. С.12.
3. Витте С.Ю. Воспоминания. Т.2. Таллин; М., 1994. С.542.
4. Les Prix Nobel en 1904. Stockholm, 1906. P.24.
5. Архив Королевской академии наук (АКАН). Фонд нобелевских комитетов по физике и химии. Материалы комитетов за 1905 г.
6. АКАН. Материалы комитетов за 1906 г.

# Новости науки

## Космология

### Наблюдения космологической паутины

Согласно большинству современных моделей, распределение вещества во Вселенной на ранней стадии ее эволюции напоминало трехмерную паутину. И это предсказание благодаря развитию наблюдательной техники превращается ныне в установленный факт.

Об этом говорят, например, наблюдения нескольких слабых галактик в окрестностях квазара Q 1205-30, выполненные в марте 2000 г. на Очень большом телескопе Европейской южной обсерватории в Чили. Красное смещение квазара равно 3.04, что в стандартной космологической модели соответствует возрасту Вселенной около 1.5 млрд лет. Чтобы определить взаимное расположение галактик и квазара, необходимо измерить расстояния до них, которые, согласно закону Хаббла, прямо пропорциональны скоростям движения галактик по лучу зрения, скорость же устанавливается по доплеровскому красному смещению — сдвигу линий в длинноволновую область спектра. Естественно, для определения красного смещения необходимо с высокой точностью измерять спектры далеких галактик. Это стало возможным лишь после ввода в строй телескопов с диаметрами зеркал 8—10 м.

П.Мёллер, Й.Финбоу (P.Moller, J.Fynbo; Европейская южная обсерватория) и Б.Томсен (B.Thomsen; Институт физики и астрономии, Дания) использовали для определения красного смещения линию нейтрального

водорода  $L_{\alpha}$ , на которую приходится основная часть излучения протогалактических облаков. Лабораторная длина волны этой линии (121.6 нм) попадает в ультрафиолетовый диапазон, однако красное смещение сдвигает ее в видимую часть спектра, благодаря чему ее можно наблюдать с помощью обычных телескопов.

Предварительный поиск протогалактик в окрестностях квазара Q 1205-30 проводился с помощью 3.58-метрового Телескопа новой технологии (ТНТ) Европейской южной обсерватории и специального фильтра, центрированного на длину волны линии  $L_{\alpha}$ , испытывавшую красное смещение 3.04, т.е. приблизительно на 490 нм. Сам квазар в данном случае сыграл роль маяка, указывающего на область образования галактик. Затем, в марте 2000 г., на 8.2-метровом телескопе ТНТ/Анту были получены спектры восьми галактик, предварительно идентифицированных с помощью ТНТ. Определенные по этим спектрам красные смещения вместе с угловыми координатами составили тройку пространственных координат, необходимую для построения объемной карты распределения протогалактик.

На этой карте все восемь протогалактик и квазаров лежат на одной линии, которая очерчивает нить той самой паутины, что предсказывается большинством космологических теорий. Этот результат подтверждает сложившуюся к настоящему времени картину эволюции ранней Вселенной.

Astronomy and Astrophysics. 2001. V.372. P.157 (Международный европейский журнал); <http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2001/pr-11-01.html>

## Астрофизика

### «Фонтанирует» нейтронная звезда

За последнее десятилетие астрономам удавалось многократно наблюдать, как различные небесные объекты — от близлежащих нейтронных звезд до массивных черных дыр, находящихся в нашей Галактике или далеко за ее пределами, — выбрасывают струи раскаленных газов. При тщательном рассмотрении оказывалось, что такие струи неоднородны — они состоят из сгустков, разлетающихся от своих источников со скоростями, близкими к световой.

Можно было предположить, что звезда или черная дыра выбрасывают подобные комья материи, когда им пришла необходимость освободиться от крупных скоплений горячих газов. Если это так, то выбросу каждого сгустка должна предшествовать вспышка рентгеновского излучения, которая может наблюдаться в окрестностях такого объекта (подобно вспышке света, заметной в тот момент, когда снаряд вырывается из орудийного жерла).

Однако проверить эту гипотезу было нелегко. Дело в том, что выброшенные сгустки звездной материи быстро остывают и становятся неразличимыми для телескопов, работающих в рентгеновском диапазоне. Чтобы проследить за прохождением каждого сгустка вдоль струи, необходима совместная работа оптических и радиотелескопов с очень длинной базой, т.е. разбросанных по далеким друг от друга странам и континентам. Координация подобной системы нелегка не только в организационном, но даже в политическом плане.

Впервые такая цель была достигнута в июне 1999 г., когда в продолжение 56 часов звезда X-I в созвездии Скорпиона непрерывно наблюдалась радиотелескопами Национальной радиоастрономической обсерватории США в Сокорро (штат Нью-Мексико) совместно с телескопами в Австралии, Китае, Японии и ЮАР; в работе участвовали также две оптические обсерватории и рентгеновские приборы, установленные на спутнике «Rossi X-ray Timing Explorer».

Обработка собранных уникальных данных выполнялась под руководством Э.Фомалонта (E.Fomalont; Национальная радиоастрономическая обсерватория США). В итоге был зафиксирован предсказанный всплеск рентгеновского излучения, за которым последовал выброс сгустков материи, разлетавшихся в разные стороны со скоростью, составлявшей около 95% световой. Через несколько часов сгустки попали в скопления уже остывшего вещества, выброшенного предыдущими взрывами.

Таким образом, впервые удалось пронаблюдать полный цикл этих грандиозных явлений и проверить правильность предположений об их характере и последовательности. Однако все еще неясно, что именно вызывает подобные взрывы.

Science. 2001. V.292. №5522. P.1631(США); Astrophysical Journal Letters. May 20, 2001; www.aoc.nrao.edu/pr/scox1/scox1.movie.html

## Астрофизика. Геофизика

### Гигантская вспышка на Солнце

21 марта 2001 г. на Солнце произошла сильнейшая магнитная буря. Она вызвала, в частности, мощное полярное сияние, которое наблюдалось даже в Мексике, где подобные явления чрезвычайно редки. В штате Нью-Йорк временно нарушилась система энергоснабжения; последствия могли оказаться более серьезными, если бы это не происходило в нерабочее время, в конце неде-

ли, когда нагрузка на электросети составляет лишь около 50% обычной для будних дней.

Астрофизики и геофизики усмотрели в такой сильной вспышке предзнаменование еще более мощных проявлений активности Солнца. Действительно, 2 апреля 2001 г. была зарегистрирована самая крупная (на то время наблюдений) вспышка рентгеновского излучения Солнца. В северо-западном квадранте его диска возникла колоссальная область пятен, получившая наименование NOAA AR 9393. Она разрослась до размеров, в 14 раз превышающих Землю. К счастью, потоки частиц из этой области миновали нашу планету, но все же Земля получила тогда крупную порцию протонов высокой энергии.

Большую роль в наблюдениях за солнечной активностью играют Военно-воздушные силы США, которым принадлежит сеть из пяти территориально разбросанных и круглосуточно работающих станций, где фиксируются солнечные вспышки, корональные выбросы солнечной материи и тому подобные события, нарушающие радиосвязь на высоких частотах и мешающие работе навигационных систем. Недавно ВВС США заключили соглашение с Национальным центром геофизических данных (входит в систему Национального управления по изучению океана и атмосферы) о том, что этот Центр принимает на себя хранение получаемых сетью ВВС данных оптического и радионаблюдений солнечной активности. Право пользоваться ими предоставляется всей научной общественности, заинтересованной в исследовании солнечно-земных связей.

Earth System Monitor. 2001. V.11. №4. P.3 (США).

## Метеоритика. Геохимия

### Древний космический «пришелец»

Известно, что около 65 млн лет назад Земля столкнулась с довольно крупным небесным телом.

Местом падения считается нынешнее побережье п-ова Юкатан в Южной Мексике, где находится гигантский кратер Чиксулуб<sup>1</sup>, образовавшийся при столкновении. В результате удара было выброшено в атмосферу огромное количество вещества как земного, так и космического происхождения, которое благодаря ветрам распространилось по всей планете. Эти отложения (их можно найти на границе мела и третичного периода в самых удаленных от Мексики регионах) содержат необычно высокую для земных горных пород концентрацию иридия.

Недавно геохимик Т.Вдовяк (T.Wdowiak; Университет штата Алабама, США) с коллегами изучили методом мёссбауэровской спектроскопии образцы, взятые на территории Европы, Центральной и Северной Америки в самом верхнем горизонте этого пограничного слоя. Он имеет существенно более красноватую окраску, чем лежащие ниже породы, а кроме того, — высокую концентрацию гидроксидов и сульфатов железа.

Мёссбауэровская спектроскопия позволила установить присутствие наночастиц гематита ( $\alpha$ -FeOОН) — желтовато- и красновато-бурого минерала ромбической сингонии. Причем те образцы, которые взяты в Италии, содержат значительное количество гематита ( $Fe_2O_3$ ) — минерала, который в больших скоплениях образует месторождения железной руды. Такие частицы вполне могут быть измененными (окисленными) остатками упавшего на Землю астероида.

Как показывает построенная математическая модель, инопланетная порода, попав на Землю, сначала испарилась, а затем ее мельчайшие частицы, которые были разнесены ветром, подверглись конденсации на всей территории планеты.

Meteoritic and Planetary Science. 2001. V.36. P.123; Science. 2001. V.291. №5509. P.1665 (США).

<sup>1</sup> См. также: Астероид был намного крупнее // Природа. 1994. №6. С.86.

**Физика**

**Модификация поверхности — путь к магнитной памяти**

Российские ученые из Нижегородского университета В.Н.Петряков, Ю.К.Веревкин (Институт прикладной физики РАН) и Н.И.Полушкин, Н.Н.Салашенко (Институт физики микроструктур РАН) в сотрудничестве с американскими коллегами из Университета штата Небраска сформировали магнитные наноструктуры методом лазерной интерференционной литографии<sup>1</sup>.

Исходные пленки Со-С толщиной 40 нм с равным содержанием кобальта и углерода были получены путем одновременного их распыления на поверхности стекла. Затем, используя эксимерный лазер мощностью 0.17 Дж/см<sup>2</sup> и длиной волны 308 нм, создали на поверхности пленки интерференционную картину с периодом, равным половине длины волны. В местах максимума интенсивности излучения происходил локальный отжиг пленки.

Исследования в атомно-силовом и магнитно-силовом микроскопах показали, что в исходной Со-С-фазе нанокристаллы Со имеют размер 1—2 нм и не проявляют магнитных свойств. После лазерного отжига кластеры кобальта разрастаются до размеров 10—25 нм, что приводит к появлению ферромагнетизма.

В ином направлении пошли французские (Universite 'Paris-Sud, Orsay) и английские (University of Glasgow) исследователи<sup>2</sup>. В качестве исходных эти ученые брали многослойные пленки Со-Рт с хорошими магнитными свойствами. Облучение поверхности сфокусированным пучком ионов галлия приводит к разрушению ферромагнитного состояния пленки в местах попадания этих ионов.

<http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/p120/index/html>

<sup>1</sup> Applied Physics Letters. 2001. V.79. P.2606.  
<sup>2</sup> Journal of Applied Physics. 2001. V.90. P.3850.

**Техника. Экология**

**Криогенный автомобиль? Он есть**

Опытный образец такого автомобиля создан в США, в Университете штата Северный Техас. Пока он немного неуклюж и больше напоминает ретро-модель. Полная масса криоавтомобиля 700 кг; он оснащен пневмодвигателем мощностью 13 кВт, работающим при давлении 10 атм, в его баке — 124 л жидкого азота. На испытаниях криоавтомобиль развил скорость 58 км/ч при дальности пробега на одной заправке 24 км. Это — прототип будущего криоавтомобиля, и его характеристики пока далеки от теоретических, на которые ориентируются авторы. (В дальнейших планах — создание криоавтомобиля, способного развивать скорость до 100 км/ч при длительности пробега на одной заправке жидкого азота в 240 км.) Основные трудности в достижении высоких эксплуатационных характеристик связаны с созданием эффективного тепло-

обменника, который мог бы обеспечить стабильный расход и температуру паров азота в широком диапазоне окружающих температур и влажности атмосферы. Кроме того, теплообменник не должен обмерзать. Все это — достаточно сложные инженерные задачи.

Идея создания криоавтомобиля вовсе не надумана: атмосфера густонаселенных городов, насыщенная выхлопами автотранспорта с двигателями внутреннего сгорания, опасна для их жителей. В штате Калифорния принята специальная программа, которая обязывает производителей начиная с 2003 г. оснащать 10% всех новых автомобилей двигателями с нулевым выбросом вредных веществ. Долгое время понятие «автомобиль с нулевым выбросом вредных веществ» было синонимом электроавтомобиля или автомобиля на водороде. Работы над другим типом экологически чистого транспорта — криогенным автомобилем — ведутся с середины 90-х годов.

Энергию для движения криогенный автомобиль получает за счет расширения азота при его ки-



Опытный образец криогенного автомобиля, разработанный в Университете штата Северный Техас. Он состоит из бака с жидким азотом, теплообменника, в котором происходит кипение азота с последующим подогревом паров до температуры, близкой к комнатной, и пневматического двигателя. По принципу действия этот вид транспорта скорее похож на паровоз, с той лишь разницей, что энергия для парообразования берется из окружающей среды.

пении. Несмотря на то что при изотермическом рабочем цикле может быть получена механическая работа до 0.4 МДж на килограмм жидкого азота, это все же в 25 раз меньше энергоемкости двигателя внутреннего сгорания. К слову, энергоемкость современных электрохимических аккумуляторов, используемых в электромобилях, еще в несколько раз ниже, чем у созданного прототипа криоавтомобиля, хотя электромобилями занимаются не один десяток лет. Другие несомненные достоинства криоавтомобиля — низкая стоимость жидкого азота (он в 10 раз дешевле бензина) и полная пожаробезопасность. В отличие от электромобиля у нового вида транспорта не встает проблема утилизации отработанных аккумуляторов. Основной недостаток — большие размеры азотного бака и теплообменника.

Изготовив прототип криоавтомобиля, специалисты приступили к выполнению заказа на пожаробезопасный криоавтомобиль для космодрома им. Кеннеди во Флориде. Интерес к безопасному средству для грузовых и пассажирских перевозок в аэропортах проявляют многие авиакомпании.

За каким автомобилем будущее — электрическим, криогенным или водородным, пока предсказать трудно.

<http://perst.isssph.kiae.ru/inform/perst/p121/index/html>

## Медицина

### Фуллерены против гриппа

Ученые давно обратили внимание на биологическую активность фуллеренов (почти идеальных сферических молекул  $C_{60}$  диаметром 0.7 нм), надеясь использовать ее в борьбе против вирусов. Основное препятствие на пути создания лечебных препаратов связано с нерастворимостью фуллеренов в воде, что затрудняло их прямое введение в организм человека.

Похоже, что с этой проблемой успешно справился коллектив сотрудников Института эксперимен-

тальной медицины (Санкт-Петербург), того самого, в стенах которого в свое время успешно трудился великий И.П.Павлов. В опытах по подавлению вирусов гриппа авторы<sup>1</sup> использовали аддукт фуллерена с поливинилпирролидоном (ПВП). Это соединение хорошо растворимо в воде, а полости в его структуре близки по размерам молекулам  $C_{60}$ . Полости легко заполняются молекулами фуллерена, и в результате образуется водорастворимый аддукт с высокой антивирусной активностью. Поскольку сам ПВП не обладает антивирусным действием, вся активность приписывается содержащимся в аддукте молекулам  $C_{60}$ .

В пересчете на фуллерен его эффективная доза составляет примерно 5 мкг/мл, что значительно ниже соответствующего показателя для ремантадина (25 мкг/мл), традиционно используемого в борьбе с вирусом гриппа. В отличие от ремантадина, который наиболее эффективен в ранний период заражения, аддукт  $C_{60}$ /ПВП обладает устойчивым действием в течение всего цикла размножения вируса. Другая отличительная особенность сконструированного препарата — его эффективность против вируса гриппа А- и В-типа, в то время как ремантадин действует только на первый тип.

<http://perst.isssph.kiae.ru/inform/perst/p113/index.html>

## Охрана окружающей среды

### Дания — за чистоту моря

В конце 1970-х годов в водах, омывающих Ютландский п-ов, происходили массовые заморы рыбы, которые были вызваны обильным развитием планктона и, как следствие, — резким снижением содержания кислорода в воде. В наибольшей степени это явление затронуло пролив Каттегат, отделяющий Данию от Швеции. По мнению специалистов, причина гипоксии — сток в море удоб-

<sup>1</sup> Kiselev O.I. et al. // Mol. Materials. 1998. V.11. P.121; Piotrovsky L.B. et al. // Ibidem. 2000. V.13. P.41.

рений. В 1986 г. ситуация повторилась — кислородное голодание привело к гибели омаров в южной части Каттегата.

Под давлением Датского общества охраны природы правительство приняло программу сохранения морской среды, вступившую в силу в 1987 г. Прежде всего следовало вдвое уменьшить выбросы азота из всех основных источников, а в течение последующих шести лет — на 80% сократить поступление в окружающую среду соединений фосфора. Кроме того, ежегодно выделялось 24 млн долл. на усовершенствование очистных сооружений и на поощрение тех фермеров, которые ограничивают использование навоза и выращивают сорта озимой пшеницы, поглощающие из почвы излишки азота.

К 1991 г. стало ясно, что этих мер недостаточно, к тому же посев озимых привел к увеличению количества вносимых азотных удобрений. Пришлось выплачивать премии и за сокращение применения нитратов.

В результате комплексного подхода количество цветущего планктона, а следовательно, и акватория бедствия в проливе Каттегат значительно уменьшились.

Science. 2001. V.291. №5506. P.969 (США).

## Геотектоника. Сейсмология

### Внутриплитовые землетрясения наиболее опасны

В конце января 2001 г. в западном индийском штате Гуджарат разразилось мощное ( $M = 7.5$  по шкале Рихтера) землетрясение, полностью уничтожившее г.Бхудж, расположенный в 20 км от эпицентра. Более 10 тыс. жителей погибло за несколько минут; даже в удаленном на 300 км Ахмадабаде были многочисленны жертвы.

Штат Гуджарат давно значится на геофизических картах как район высокой сейсмичности, причем сейсмичности особой: землетрясения происходят во внутренних, условно стабильных областях континента.

Большинство землетрясений происходит на границах тектонических плит; при соприкосновении их края обламываются, вызывая толчки. Наиболее характерный пример — сейсмические явления вдоль разлома Сан-Андреас, вызванные взаимодействием Северо-Американской и Тихоокеанской плит.

Другое дело, когда речь идет о таких регионах, как упомянутый Индийский субконтинент. Тут грозные силы действуют издалека: надвигающаяся с юга на протяжении миллионов лет Австралийская плита смещает Индостан к северу, подвергая земную кору мощному нажиму; местами она поддается — рождаются гигантские складки Гималайских гор. В местах, где кора не выдерживает давления и трескается, возможны землетрясения, именуемые внутриплитовыми. Таким событием и была Бхуджская катастрофа. Этот толчок, вероятно, привел к образованию нового разлома в пределах древнего рифта, где земная кора долгое время подвергалась то растяжениям, то сжатиям и разрывам и, наконец, ослабла настолько, что энергия выделилась мощным толчком. А весь этот процесс начался еще 150 млн лет назад, когда Индостан только отделился от Антарктиды и Африки.

Считая лишь с 1956 г., Индия перенесла пять внутриплитовых землетрясений, слабейшее унесло 26 жизней, а сильнейшее — 9748. В отличие от иных индостанских внутриплитовых землетрясений район Бхуджа задолго до этого события был отнесен к зоне наивысшей сейсмической опасности (всего различают пять степеней). При этом специалисты учитывали, что еще в 1819 г. сходный по силе толчок разразился в недалеко расположенном, но отдельном отрезке разлома, унеся около 2 тыс. жизней. А затем здесь отмечалась более слабая, но нередкая сейсмическая активность, одним из всплесков которой в 1956 г. был толчок с  $M = 6.0$  в окрестностях г.Анджара. Анализируя эти события, специалисты в ноябре 2000 г. предупредили о возможно-

сти новых толчков, но ожидали их западнее, ближе к Карачи (Пакистан), так как считали, что активный разлом начнет распарываться именно в эту сторону, а не на восток, как случилось в действительности...

Наращение напряжения в коре совершается столь медленно, что минуют тысячелетия, прежде чем тот же самый отрезок разлома распорется снова. Поэтому для принятия мер, таких как введение строгих правил сейсмического строительства, соответствующих конкретным условиям, необходим сбор точных наблюдательных данных за длительный период, что в Индии не всегда делается. Да и существующие правила часто не соблюдаются, как это было, например, со зданиями школы и больницы в Ахмадабаде.

Видный геофизик П.Мольнар (P.Molnar; Университет штата Колорадо в Боулдере) считает реальной возможностью еще более трагичных событий. В регионе, где Индостанская плита подпирает Азиатскую и погружается под нее, интенсивно накапливаются напряжения. Тот или иной участок в области Гималайских гор должен в среднем разрываться раз в несколько десятилетий. Чтобы взломалась вся горная арка, необходимо, по мнению Р.Билэма (R.Bilham; Университет штата Колорадо), 14—15 мощных землетрясений. За последние 200 лет произошло лишь три, так что в любое время можно ожидать продолжения. Особой опасности, полагает Билэм, подвергаются крупные города в приморской равнине на юге страны: здесь все строительство осуществлялось на почве, которая даже в случае отдаленного, но достаточно сильного землетрясения приобретает свойства жидкости, и стоящие на ней сооружения разрушатся.

Секретарь Управления по делам науки и техники Индии В.С.Рамамурти (V.S.Ramaamurthy) заявил, что уроки Бхуджа тщательно изучаются и по ним будут приняты соответствующие меры.

Science. 2001. V.291. №5505. P.802 (США).

## Сейсмология

### Землетрясения в заливе Пьюджет-Саунд

28 февраля 2001 г. в южной части залива Пьюджет-Саунд (крайний северо-запад США) произошло редкое в этих местах землетрясение. Проанализировав поступившую о нем информацию, американские сейсмологи Буржуа и Джонсон (Bourgeois, Johnson) пришли к выводу, что событие связано с существованием разлома земной коры, относящегося к плите Хуан-де-Фука, которая здесь смещается в восточном направлении и погружается под Северо-Американскую плиту.

Еще до февральского землетрясения эти исследователи изучили осадочные породы в нижней части дельты реки, которая впадает в залив Пьюджет-Саунд (дельта лежит неподалеку от эпицентра последовавшего затем толчка). Выяснилось, что слои осадочных пород нарушены там специфическим образом, и как можно предположить, либо вследствие того, что на эту территорию дважды обрушивались волны цунами, либо в результате сейсмических событий. За последние 1200 лет здесь случилось два мощных и как минимум три более слабых землетрясения. Среди них, несомненно, были и такие, которые по интенсивности превосходили событие начала 2001 г. или были равны ему. В связи с этим, очевидно, потребуются внести поправку в карты сейсмозонирования северо-запада США и в местные строительные правила.

Bulletin of the Geological Society of America. 2001. V.113. P.482 (США).

## Вулканология

### Фудзи-сан угрожает

Знаменитую огнедышащую гору Фудзияму (3776 м над ур.м.), что в 150 км к западу от Токио, с сентября 2000 г. начали сотрясать мелкие подземные толчки: вместо недавних 30—40 ежемесячно регистрировалось по 130—

140, а в ноябре их число достигло 222 (в предыдущие годы среднемесячное количество не превышало 1–2). Нынешние землетрясения, очаг которых залегал всего в 15 км под землей, были не слишком мощные — магнитуда сильнейшего составляла 2.2 по шкале Рихтера.

Фудзи-сан, как уважительно называют японцы свой вулкан, имеет очень сложное строение. Он расположен поверх группы более древних, перекрывающих друг друга вулканических построек. Рост Юного Фудзи (таково его геологическое название) начался всего 10–8 тыс. лет назад. Между 8 и 4.5 тыс. лет назад здесь неоднократно происходили вулканические взрывы, а затем в течение целого тысячелетия — обильные излияния лавы. На склонах вулкана открылось более сотни побочных кратеров и расщелин. Потоки расплавленного материала перекрыли реки и ручьи, верховья которых находились к северу от вулкана, в горах Мисака, — так возникли Пять озер Фудзи (теперь это популярное в Японии курортное место). Последнее, самое сильное за историческое время, извержение Фудзиямы произошло в 1707 г.: на восточном склоне появился новый кратер, а выброшенный пепел покрыл улицы г.Эдо (ныне Токио).

Сегодня за состоянием Фудзи-сан постоянно следят специалисты. Установленные на склонах и у вершины наклонометры фиксируют его геодезические особенности, сейсмическая аппаратура регистрирует движения земной коры, в наблюдениях участвуют и спутники GPS (Global Positioning System). Каковы ближайшие «намерения» Фудзиямы, пока не известно.

Bulletin of the Global Volcanism Network. 2001. V.26. №.2. P.6 (США).

## Геофизика

### Сезонное сейсмическое «дыхание» Земли

Геодезист М.Мураками (M.Murakami; Институт геофизической съемки в Цукубе, Япония) и сейс-

молог-вулканолог С.Макнатт (S.McNutt; Университет штата Аляска в Фэрбенксе, США) сообщили об открытии ими циклического «дыхания» Земли — некой годичной периодичности сейсмических явлений.

Установить существование такого цикла, особенно заметного в районе Японского архипелага, позволил им анализ многолетних высокоточных данных, полученных благодаря Системе глобального позиционирования (GPS). Пятьдесят наземных станций этой системы, сеть которых охватывает и северо-восток Японии, регистрируют ежегодное сжатие земной коры (примерно на 30 мм) в направлении с востока на запад, за которым следует ее растяжение в обратном направлении. Причем в осенний сезон движение происходит на 15% быстрее, чем весной. Вероятно, с этим и связан наблюдаемый в Японии сезон землетрясений: подземные толчки и извержения некоторых вулканов случаются почти исключительно в период между сентябрем и декабрем. При анализе событий авторы исключили такие посторонние эффекты, как разогрев поверхности планеты Солнцем, атмосферные и иные воздействия.

Сезонность активности проявляют не только японские вулканы Осима и Миякодзима, но и далеко от них расположенные вулканы — Павлова на Аляске и Вильяррика в Чили. Цикличность вулкана Павлова проявляется более чем в 99% случаев его активности: каждую осень наступает фаза «выдавливания» магмы, весной сменяемая приостановкой извержения, вероятно в результате падения давления в подземной камере. В дополнение к этим наблюдениям сейсмологи М.Отаке и Х.Накахара (M.Ohtake, H.Nakahara; Тохокский университет в Сендае, Япония) отобрали исторические данные, согласно которым начиная с 684 г. все без исключения крупнейшие землетрясения в центре страны происходили в период между августом и февралем.

Геодезист К.Хеки (K.Heiki; Национальная астрономическая об-

серватория в Мидзусаве) независимо получил данные об аналогичных движениях земной коры на севере Японии: измерители напряжений, установленные в 150-метровом туннеле среди гранитных пород, показали, что ритмичность сжатия и растяжения коры весьма похожа на обнаруженную по данным сети GPS.

На вопрос о механизме ритмических явлений в случае вулкана Павлова Макнатт предположительно назвал рост давления на земную кору вследствие сезонного ветрового нагона океанских вод на сушу, что, возможно, и «выдавливает» магму к поверхности. Что же касается севера Японии, то Хеки причину усматривает в появлении зимнего снежного покрова, что также увеличивает давление на магматические камеры. Многие специалисты полагают, однако, что массы снега для этого недостаточно. Возможно, здесь замешано одновременное взаимодействие нескольких факторов. Оживленная дискуссия продолжается на страницах научных журналов.

Science. 2001. V.291. №5504. P.584 (США).

## Гляциология

### Исчезают шельфовые ледники

За последние десятилетия на западе Антарктического п-ова исчезло несколько крупных шельфовых ледников. Считалось, что на эти ледяные «фартуки» (один край прикреплен к суше, а другой плавает в море) воздействует глобальное потепление, но, как выяснили гляциологи, таяние ледников идет даже намного быстрее, чем можно было предполагать.

Группа американских специалистов провела детальную съемку еще существующих шельфовых ледников Антарктического п-ова, а также проанализировала телеметрические данные с искусственных спутников Земли, пролетающих над Шестым континентом.

Оказалось, что исчезновение шельфовых ледников связано не

только с потеплением: в значительной мере на этот процесс влияют озера и озёрки талой воды, скапливающейся в трещинах во льду.

Из математической модели, построенной с учетом скорости стекания ледника с континента, поля напряжения, обусловленного растрескиванием льда, и влияния талых вод на образование трещин, следует, что сама по себе талая вода трещин не порождает, зато очень сильно расширяет уже возникшие. А широкая трещина способствует отколу большого ледяного массива. Это исследование поможет прогнозировать дальнейшую судьбу антарктического оледенения.

Journal of Glaciology. 2000. V.46. P.516;  
Science. 2001. V.291. №5506. P.947 (США).

## Палеонтология

### Первые находки динозавров в Туве

Впервые остатки юрских наземных позвоночных в Туве обнаружили специалисты Горной экспедиции в 1957 г. Ископаемые кости были извлечены из канавы, заложенной для геологического изучения подпочвенных пород на правом берегу Енисея, в восточной части урочища Калбак-Кыры (в 5 км к северо-западу от г.Кызыла). Информация о находке в то время до палеонтологов не дошла.

В октябре 2000 г. геологи из нескольких научно-исследовательских учреждений Тувы отыскали забытое местонахождение. На поверхности незадернованного отвала они увидели несколько десятков костных обломков, о чем сообщили в Палеонтологический институт РАН.

Во второй половине августа 2001 г. ученые из Кызыла и Москвы посетили местонахождение Калбак-Кыры. Пробные раскопки позволили пополнить коллекцию ископаемых костей, которые, как оказалось, принадлежат динозаврам. Окаменелости залежали в зеленовато-серых глинистых отложениях, ниже слоя известковисто-песчаных конкреций. Эти по-



Силуэт архаичного стегозабра.

роды относят к верхней части салдамской свиты, датируемой обычно средней юрой (бат-келловейский век).

Остатки динозавров из Калбак-Кыры представлены фрагментами позвонков, ребер и костей конечностей. Они имеют темно-коричневый цвет, сильно минерализованы и местами покрыты тонкой известковистой коркой, выраженной и на местах сломов. Благодаря повышенной радиоактивности, достигающей до 100 мкР/ч, для поисков палеонтологических образцов успешно применялся радиометр.

К настоящему времени предвзительно установлено, что кости из Калбак-Кыры принадлежат представителям по крайней мере двух групп птицетазовых динозавров (Ornithischia): гипсилофодонтов (Hypsilophodontia) и стегозабров (Stegosauria). Первая из них определена по телам позвонков, эпифизам бедренных и локтевых костей, а вторая — только по позвонкам.

Гипсилофодонты, которым приписывается двуногое передви-

жение, открыты практически на всех континентах. Известно, например, что в Северной Америке динозавры этой группы достоверно существовали от поздней юры до конца мелового периода, в Австралии и Европе — в раннем мелу, а в Африке и Азии — в юрское время.

Стегозабры, четвероногие ящеры с двумя рядами продольно ориентированных спинных пластин и острыми хвостовыми шипами, были обычны в поздней юре на Африканском континенте, в Европе, Северной Америке и Азии. В Джунгарской и Турфанской впадинах (северо-запад Китая) они обнаружены в породах раннемелового времени. Довольно полные остатки архаичных среднеюрских стегозабров хуанозабров (*Huayangosaurus*) происходят из всемирно известного китайского местонахождения Дашанпу (провинция Сычуань). Там выкопано довольно много полных скелетов и их фрагментов, принадлежащих разным группам динозавров. Среди них, например, — за-



Фрагменты хвостовых позвонков среднеюрского стегозабра из Тувы.

вропод шунозавр (*Sbunosaurus*), огромный хищник газозавр (*Gasosaurus*) и гипсилофодонт яндузавр (*Yandusaurus*). Эти ящеры жили около 170 млн лет назад, т.е. практически в одно время с тувинскими динозаврами.

Ископаемые находки из Калбак-Кыры еще предстоит изучить. Можно надеяться, что результаты исследований позволят детальнее охарактеризовать состав салдамских динозавров, подтвердить возраст отложений, содержащих кости, и выявить палеобиогеографические связи между различными областями древнеазиатской суши.

(Эта работа была выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 00-04-49348 и 01-04-63004.)

© **В.Р.Алифанов,**  
**Е.Н.Курочкин**

Палеонтологический институт РАН  
**В.И.Забелин**  
Тувинский госуниверситет  
**В.И.Кудрявцев**  
Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН

## Археология

### Кто и когда стал первым «кукурузником»?

Долгие годы археоботаник Д.Пиперно (D.Piperino; Смитсоновский институт тропических исследований, Бальбоа, Панама) утверждала, что в низменных влажных лесах Центральной Америки в древние времена могло развиваться земледелие. Однако прямых доказательств тому не хватало, поскольку остатки растений в тропиках быстро разлагаются. Исследовательнице пришлось обратиться к микроскопическим свидетельствам — частицам пищи, прилипшим к каменным орудиям (их возраст ≈12.7 тыс. лет), которые обнаружены на стоянке древнего человека в панамской пещере Агуа-Дульсе. Оказалось, что поверхность каменных скребков и ножей покрыта мелкими крупичками остатков кукурузы, маниока

(кассава), ямса и аррорута — клубнеплода, которым местные индейцы питаются и сегодня. Радиоуглеродная датировка слоя почвы, в котором найдены эти образцы, была недостаточно точной: 7800—5500 лет назад. К тому же оставалось неясным, выращены эти растения человеком или они были дикорастущими.

Выход из положения нашел американский археолог Р.Томпсон (R.Thompson; Университет штата Миннесота, Миннеаполис). Он исходил из того, что древний человек обычно готовил обед, не соскребая со стенок горшка пригар от предыдущих трапез. Под полуобугленными слоями пищи могли оставаться микроскопические частички растений, съеденных ранее; а их уже можно достаточно точно датировать методом масс-спектрометрии с использованием ускорителя. Томпсон исследовал глиняные черепки, найденные на раскопках древнего прибрежного поселения Ла-Эмеренсиана (Эквадор) — там когда-то находился религиозный центр, где приносились жертвы богам. На некоторых осколках он обнаружил кукурузные фитолиты — крошечные кусочки окаменевших растений. Анализ показал, что люди питались кукурузой не менее 4200 лет назад!

Известно, что родина кукурузы — Мексика, а предок — теосинте, высокая однолетняя трава, и сегодня растущая по всей Центральной Америке. Вопрос же состоит в том, когда именно теосинте окультурили. Пиперно и К.Фланнери (K.Flannery; Университет штата Мичиган в Анн-Арборе, США) исследовали методом масс-спектрометрии початки кукурузы, найденные в мексиканской пещере Оаксака, и выяснили, что им около 6250 лет — более старых остатков маиса в Америке еще не находили.

Таким образом, чтобы со своей родины, Юго-Западной Мексики, достигнуть прибрежного Эквадора, окультуренному маису понадобилось более 2 тыс. лет.

Proceedings of the National Academy of Sciences. February 13, 2001; Science. 2001. V.292. №5517. P.631 (США).

## Гляциология

### Горные ледники в тропиках отступают

Существование горных ледников полностью зависит от колебаний климата: даже незначительное потепление приводит к резкому смещению снеговой линии вверх. В последние десятилетия ледники сокращаются все интенсивнее. Такая картина наблюдается в горах столь удаленных друг от друга стран, как Кения, Венесуэла, Эквадор, Новая Гвинея; но в наибольшей степени это касается перуанских Анд и Килиманджаро.

В Перу активно отступает ледник Куэльккай. Геодезические съемки показали, что последние три года ледяной язык его главного стока уменьшается в среднем на 155 м/год — в 32 раза быстрее, чем в 1963—1978 гг. Площадь оледенения уменьшилась с 56 км<sup>2</sup> в 1976 г. до 44 км<sup>2</sup> в настоящее время. При таком темпе таяния здесь не останется льда уже через 20 лет.

Если климатическая тенденция не изменится, та же участь ждет и сверкающую белизной снежную шапку высочайшего в Африке (5895 м над ур.м.) пика Килиманджаро, красоту которого воспел в своих произведениях Э.Хемингуэй. На конференции Американской ассоциации развития науки (Сан-Франциско, март 2001) гляциолог Л.Томпсон (L.Thompson; Центр полярных исследований им.Р.Бэрда при Университете штата Огайо в Колумбусе) сообщил, что, по данным аэрофотосъемки, ледники Килиманджаро с 1989 г. уменьшились на 33%, а по сравнению с 1912 г. потери достигают 82%. Измерения 2000 г. показали, что ледник, толщина которого в разных местах варьирует от 20 до 50 м, за последние 12 мес стаял на 1 м.

Последствия этого процесса могут быть весьма серьезными: жители предгорных районов лишатся питьевой воды, турбины многих ГЭС остановятся.

Science. 2001. V.291. №5509. P.1690 (США).

# Рецензии

## СЛОЖНЫЙ, НО ПОЗНАВАЕМЫЙ ГЕНОМ

А.М.Гиляров,

доктор биологических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Книга М.Д.Голубовского, рассказывающая об основных концепциях генетики и устройстве генома, читается с громадным интересом и заставляет думать. Конечно, у разных читателей, в зависимости от склада ума, а также информированности по части самого предмета книги, мысли могут возникать разные, но полагаю, что в любом случае они будут касаться как организации живой природы, так и того, каким образом эта организация познается наукой. По крайней мере у меня, как человека, малоискушенного в тонкостях генетики и молекулярной биологии, чтение этого труда чаще всего прерывалось бесхитростными восклицаниями типа: Боже, как все, оказывается, сложно устроено! Как же все это ухитряется работать? (Ясно только, что не «как часы» — не потому, что неточно, а потому, что иначе — не на основе жестких детерминистских связей.) Каким образом удалось все это обнаружить? Как в сложнейшем клубке взаимосвязанных явлений исследователи сумели выделить именно те, которые оказались реально доступными для изучения? Сразу замечу, что на упомянутые вопросы книга в определенной мере отвечает. Что же касается восхи-

щения сложностью устройства самого генетического аппарата, то оно становится еще большим.

В самом начале книги автор предупреждает, что предлагаемые очерки не претендуют на «всеобъемлющий анализ проблемы», имеют «гибридный и несколько эклектичный характер» (с.14), а во многом «пристрастны и субъективны». Эти упреждающие извинения, на мой взгляд, излишни. Текст получился очень цельным. Эклектична не книга, а сам геном (наследственная система клетки). Что же касается «пристрастности», то в сочетании с «принципом сочувствия» (выражение С.В.Мейена) она не только не опасна, а, наоборот, полезна, поскольку делает текст эмоционально окрашенным и по-настоящему увлекательным.

Во вводной главе автор специально рассматривает используемые им в дальнейшем историко-методологические подходы. Один из центральных принципов, которым он руководствуется, это тезис А.А.Любищева о том, что «научное исследование нельзя отрывать от рефлексии от этого исследования»\*. Все последующее изложение

\* По мнению С.В.Мейена, Б.С.Соколова и Ю.А.Шрейдера (Вестник АН СССР. 1977. №10. С.112—124), разработка этого положения — одно из основных достижений А.А.Любищева.



**М.Д.Голубовский.** ВЕК ГЕНЕТИКИ: ЭВОЛЮЦИЯ ИДЕЙ И ПОНЯТИЙ.

СПб.: Борей Арт, 2000. 263 с.

действительно свидетельствует, что нынешнее наше знание об устройстве генетического аппарата и механизмах наследственной передачи признаков получено весьма непросто. Данные экспериментов нередко не укладывались в господствующую систему взглядов и тогда считались если не артефактами, то по крайней мере малозначимыми исключениями. По-настоящему новые представления научное сообщество, как правило, готово принять только через 25–30 лет, после того как они реально обоснованы. Почему это так, в книге подробно разбирается на примере истории законов Менделя (опубликованы в 1866 г. — подтверждены в 1900 г.) и открытия подвижных элементов генома Барбарой Мак-Клинток (доклад в 1951 г. — признание в самом конце 1970-х годов).

Таким образом, автор убедительно демонстрирует, сколь поучительна может быть история науки для анализа того, что происходит в настоящее время. Однако с этим, на мой взгляд, абсолютно верным утверждением согласятся отнюдь не все. Наличие полярных точек зрения на историю науки в книге показано на примере двух работ, опубликованных по случайному совпадению одновременно, в 1977 г. Одна из них написана М.В.Волькенштейном (биофизиком и молекулярным биологом), другая — А.А.Любичевым (зоологом и философом). Из нескольких пар тезисов, подобранных Голубовским так, что они образуют некий воображаемый эпистолярный диалог между этими двумя весьма уважаемыми авторами, приведем только две:

**«Волькенштейн:** *Попытки возрождения уже опровергнутых представлений имеют лженаучный характер.*

**Любичев:** *Прошлое науки — не кладбище с могильными плитами, а собрание недостроенных архитектурных ансамблей, многие из которых были незакончены не из-за порочнос-*

*ти замысла, а из-за несвоевременного рождения проекта или из-за чрезмерной самоуверенности строителей.*

**Волькенштейн:** *Да, бывали случаи в истории науки, когда первоклассные открытия не получали признания крупных ученых. Сейчас такие случаи становятся редкими, ибо научные методы развиты всесторонне и наука делается коллективно.*

**Любичев:** *Каждый период смотрит свысока на предыдущий и высказывает против него то, что впоследствии будет сказано о нем самом. <...> Слишком соблазнительно уверовать в правоту сегодняшних научных концепций, в то, что, наконец-то, здание науки стоит на безупречном фундаменте и нуждается лишь в планомерной застройке <...>» (с.17–18).*

Позиция Любичева, безусловно, особенно близка точке зрения автора книги, хотя взгляды оппонентов излагаются им также в высшей степени уважительно. Другой созвучный принцип — это выдвинутое П.Фейерабендом положение о том, что для науки полезно наличие целого ряда гипотез, которые в первую очередь между собою и должны сопоставляться. Именно таким образом легче всего выявить лежащие в их основе установки, а заодно и предрассудки! Парадоксально, что сопоставление гипотез с фактами может оказаться менее продуктивным, поскольку фактов всегда множество и они нередко противоречивы. Как пишет Голубовский, «отказ от принципа пролиферации (умножения) гипотез ведет к окостенению доминирующей концепции и превращению ее в <...> догму, поддерживаемую на социально-психологическом уровне теми же средствами, что и любой миф» (с.30). Фейерабенд подобные явления иллюстрировал примером официально поддерживаемых мифов (среди них — миф о ведьмах, культивируемый католической церковью в XV–XVII вв.), но в смягченной

форме это можно видеть и в науке, причем в генетике может быть особенно рельефно.

Так, открытие генетической роли ДНК и последующая «материализация гена» очень укрепили хромосомную теорию наследственности, но, с другой стороны, как отмечает автор, привели к забвению тех явлений наследственной изменчивости, которые не укладываются в «монополию ядерных генов», и тем самым в еще большей степени «оттеснили неудобные факты в запасники науки» (с.31). Абсолютная уверенность многих молекулярных биологов в исключительной непогрешимости и «вседостаточности» своих открытий наглядно проявилась в том, что в 1960-е годы именно эти исследователи (а отнюдь не их сомневающиеся оппоненты) пустили в ход выражение «центральная догма», т.е. утверждение, что «все в сфере наследственности подчинено иерархии приказов в направлении ДНК → РНК → белок» (с.31). Последующие исследования показали, что на самом деле картина не столь проста и однозначна. «Центральная догма» подверглась сильной трансформации (в частности, была открыта «обратная транскрипция» — путь от РНК к ДНК) и явно перестала быть «вседостаточной». И если в 1950-е годы молекулярные биологи вслед за Жаком Моно повторяли максимум: «Что верно для бактерии, то верно для слона», — то, как пишет автор, уже в 70-е годы, следовало бы говорить: «Что верно для бактерии — не верно даже для дрожжей» (с.36).

Рассказ о том, как формировались современные представления о геноме, идет в книге параллельно рассказу о взаимодействии генетики и теории эволюции. История этого взаимодействия очень непроста и порой довольно драматична. Автор до некоторой степени условно выделяет в ней три этапа. Первый этап, с 1900 г. до начала 30-х, — конфликтный, или «этап

генетического антидарвинизма» (специально подчеркивается, правда, что приставка «анти-» подразумевает в данном случае просто «критическое отношение»). Утверждение законов Г. Менделя, установление локализации генов в хромосомах, а самое главное — изучение мутаций, способных приводить к возникновению новых видов, казалось, делали естественный отбор не нужным или же сводили его роль к охране нормы. Отношение эволюционистов к достижениям генетики было резко критическим — мутации трактовались как редкие события, не затрагивающие большинства видов, а основное значение в эволюции по-прежнему придавалось накоплению мелких изменений, имеющих адаптивный характер (предполагалось, что вид обладает практически неограниченной «восковой» пластичностью). Генетики в свою очередь тоже не очень жаловали эволюционистов, полагая, что те занимаются только бездоказательным теоретизированием.

Второй этап, с начала 30-х годов до середины 70-х, — это период становления и упрочения «синтетической теории эволюции» (СТЭ). Согласно ее постулатам, эволюция происходит путем естественного отбора, но исходный материал поставляется наследственной изменчивостью, причина которой — мутации отдельных генов, возникающие случайно и с определенной частотой. Открытие генетического кода было ассимилировано СТЭ и, казалось, укрепило ее еще больше, хотя в догму никак не вписывались постепенно накапливающиеся данные о цитоплазматической (внехромосомной) наследственности. В книге приведены слова из работы Руфи Сэджер, которая с грустью заметила, что литературу по цитоплазматической наследственности «рассматривали скорее как пятно, компрометирующее науку, чем как подлинную составную часть более полной генетической теории» (с.80). Кроме того,

было обнаружено, что количество ДНК в геноме близких видов может различаться в несколько раз, а в самой ДНК значительная часть (до 80—90%) не несет информационной функции. Подобные наблюдения не очень увязывались с представлениями о ядерной ДНК как о единственном и очень «жестком» носителе наследственной информации.

Третий этап начался в конце 70-х годов и продолжается поныне. Именно в это время изучены мобильные, «способные к перемене мест», элементы генома, установлена мозаичная структура генов у эукариот (организмов, обладающих настоящим ядром) и обнаружена возможность самостоятельного (вне хромосом) существования генных локусов. В это же время стали меняться взгляды на природу вирусов и на возможную роль симбиоза в происхождении эукариотной клетки. Возник, как пишет автор, целый комплекс проблем, удачно названный Р.Б. Хесиным «непостоянством генома»\*, а на авансцену вышли многие «факты, бывшие в “запасниках”, или считавшиеся курьезными или странными» (с.39).

Все три этапа нашли отражение в рецензируемой книге, и описание каждого содержит интереснейшие факты и их интерпретацию. Так, читатель узнает не только о необычайной прозорливости, но и о громадном трудолюбии голландского исследователя Гуго де Фриза, который открыл и количественно охарактеризовал мутационную изменчивость. Высевав семена заносного растения, энотеры (*Oenothera lamarckiana*), он обследовал 53 тыс. потомков, из которых примерно 800 (т.е. 1.5%) имели резкие отклонения от исходного типа и были названы мутациями. Подробно описывается история открытия Барбарой Мак-Клинтон мобильных генов, т.е. элементов генома, ко-

торые могут внедряться в разные локусы или «вырезаться» из них и таким образом контролировать способность других генов давать мутации или возвращаться к исходной норме. Это открытие рассматривается как по-настоящему революционное, поскольку подрывает классическую теорию Моргана, согласно которой каждый ген должен иметь строгую «прописку» в определенном месте хромосомы.

Восхищаясь работой, преданной Мак-Клинтон, автор вместе с тем показывает, что открытие ею мобильных генов вовсе не было изолированным событием. Генетику кукурузы с мозаичной окраской зерен уже изучал Адамс Эверсон, прославившийся не только собственными исследованиями, но и тем, что два его непосредственных ученика стали впоследствии нобелевскими лауреатами (помимо Мак-Клинтон, Дж. Бидл — автор концепции «один ген — один фермент»). Еще раньше, в 30-х годах, явление нестабильности генов обнаружил Милислав Демерец (югослав, работавший в США) на львином зеве и дрозофиле. Позднее, уже в 60-е годы американский генетик Мелвин Грин нашел у дрозофилы ген, часто мутирующий, но нередко возвращающийся к норме, а кроме того, обладающий способностью к транспозиции (перемещению). Результаты этих исследований были опубликованы в престижном журнале «Genetics», но практически никакой реакции научного сообщества на них не последовало. Когда позднее Грин посетовал на это Мак-Клинтон, она успокоила его, заметив, что «люди к этому не готовы» и что сама она с определенного момента прекратила печатать работы по транспозиции генов, поскольку их просто не читали (с.89).

Однако в 70-е годы ситуация стала резко меняться. Мобильные элементы генома, так называемые «инсерционные сегменты», были найдены у бактерий. Затем их усиленно и небезус-

\* См.: Хесин Р.Б. Непостоянство генома. М., 1984.

пешно искали у дрозофил. Кстати, в это внесли свою лепту и российские исследователи, в том числе и автор рецензируемой книги. К началу 90-х у дрозофилы обнаружили около 30 семейств подвижных генов или, как их стали называть, «мобильных генетических элементов» (МГЭ). Затем МГЭ стали находить чуть ли не во всех группах организмов. Совершенствование методов молекулярной биологии позволило изучить их тонкое строение и понять, каким образом они перемещаются по геному (нередко — с помощью обратной транскрипции). Почти одновременно с понятием о МГЭ в генетику вошло представление о мозаичной структуре самого гена, состоящего, как выяснилось, из «кусков» — интронов, у которых отсутствует информация о структуре белка, и экзонов, кодирующих такую структуру. История введения этих понятий Уолтером Гилбертом весьма поучительна, и автор не зря уделяет ей особое внимание.

К сожалению, ограниченный объем рецензии не позволяет рассказать подробно о многом другом, что есть в книге, например об эволюции понятия «ген» и изменениях смысла, вкладываемого в этот термин со времен Томаса Морган до наших дней, или о целом наборе различий в представлениях классической и «подвижной» генетики. Заметим, что значительная часть книги посвящена «обобщенной концепции генома», под которой понимается попытка синтезировать в единое целое разрозненные данные о всех наследственных системах, существующих в клетке. Согласно этой концепции, в геноме можно выделить два компонента (или две подсистемы) — облигатный и факультативный. Облигатный компонент — это совокупность генов, локализованных в хромосомах ядра, а также в ДНК-содержащих органеллах (прежде всего — митохондриях и пластидах). Факультативный компонент образуют последовательности ДНК,

количество и расположение которых могут варьировать в разных клетках и у разных особей (вплоть до полного их отсутствия), а кроме того, — содержащие РНК плазмиды и вирусы.

Хотя между облигатным и факультативным компонентами возможны переходы, они все же отвечают за разную форму наследственной изменчивости. Изменения облигатного компонента — это мутации, а изменения факультативного компонента автор призывает называть «вариациями». Не исключено, что именно эта часть книги вызовет какие-то критические замечания у специалистов, но по крайней мере общая логика подхода кажется вполне убедительной. В конце автор снова возвращается к проблемам эволюции, но рассматривает их уже с позиций современной, «подвижной», генетики. В частности, обсуждаются так называемые адаптивные, или отбор-зависимые, мутации, а также наследование приобретенных признаков (очевидно, что у российской читательской старшего поколения с последним словосочетанием прочно ассоциируется лысенковская доктрина, но могу их заверить, что к лысенковщине это не имеет никакого отношения). Очень интересны разделы, посвященные горизонтальному переносу и возможной роли вирусов в эволюционном процессе. В самой последней главе некоторые «неканонические» формы наследственности рассматриваются с точки зрения медицинской генетики.

Завершает книгу библиография, которая интересна сама по себе. Она содержит большое количество публикаций на русском языке (отечественным исследователям в книге вообще уделено много внимания, и это безусловно очень отрадное явление) и почти такое же количество работ на английском. Приятно удивляет широкий диапазон тем и охват публикаций за большой промежуток времени — фактически за весь XX в.

Заканчивая рецензию, не могу не процитировать изящное высказывание об организации природы, принадлежащее известному французскому микробиологу, нобелевскому лауреату Франсуа Жакобу (в книге оно приведено как эпиграф одной из глав): «Я не нахожу природу столь прямолинейной и рациональной. Что меня изумляет — это не ее элегантность и совершенство, но скорее ее состояние: она такова, как она есть, и никакая другая. Я представляю природу в виде хорошенькой девушки. Благородной, но не совсем опрятной. Немного взбалмошной. Немного бесполой в работе. Делющей то, что она может, тем, что находится у нее под рукой. Отсюда исходит моя готовность к самым непредсказуемым ситуациям» (с.17). Можно только порадоваться тому, что среди ученых, создавших генетику XX в., не раз попадались как раз такие, которые были готовы к «непредсказуемым ситуациям». Без них не было бы достигнуто то понимание сложного, но очень естественно устроенного генома, которое мы получили к началу 21-го столетия.

И наконец — самое последнее. Книга Голубовского, представляющая громадный интерес для очень широкой читательской аудитории, к которой можно отнести не только генетиков и эволюционистов, но и вообще всех биологов, а кроме того — философов и историков науки, издана тиражом 250 (!!!) экз. Неудивительно, что она уже стала библиографической редкостью. Остается только пожелать скорейшего переиздания, причем — тиражом по крайней мере в 20 раз превышающим первоначальный. При подготовке нового издания надо выправить опечатки (которые, к сожалению, нередки), дать большее число рисунков и схем (возможно, добавить пояснения наиболее сложных мест), а также обязательно снабдить книгу авторским и предметным указателями. ■

## Математика. Криптография

**С.Коутинхо.** ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ЧИСЕЛ. АЛГОРИТМ RSA. Под ред. С.К.Ландо; Пер. с англ. С.А.Кулешова. М.: Постмаркет, 2001. 328 с.

Эта книга в первую очередь рассказывает о теории чисел — науке, которую древние называли «царицей математики», известной своей славной и древней историей. Сегодня компьютер, телефон, кредитная карточка используют довольно тонкие результаты этой науки. Яркий пример — криптосистема с открытым ключом, подробно разбираемая в книге. Идея чрезвычайно проста: перемножить два больших целых числа очень легко, а вот найти сомножители, зная произведение, — довольно трудно. Одна из особенностей книги — ясность изложения материала.

В роли «главного героя» выступает знаменитая система шифрования с открытым ключом Ривеста, Шамира и Адлемана, известная под именем RSA. Все математические проблемы, о которых идет речь, так или иначе связаны с этой системой.

Книга будет интересна как студентам, увлекающимся теорией чисел и шифрованием, так и программистам, желающим глубже проникнуть в основы своей деятельности. В конце каждой главы приведены упражнения, иллюстрирующие описанные в тексте алгоритмы.

## Ботаника

**Е.Т.Валягина-Малютина.** ДЕРЕВЬЯ И КУСТАРНИКИ ЗИМОЙ: Определитель древесных и кустарниковых пород по побегам и почкам в безлистном состоянии. М.: КМК, 2001. 281 с. (Определители по флоре и фауне России)

Первый выпуск данной серии посвящен деревьям и кустарникам средней полосы ев-

ропейской части России. В иллюстрированный авторскими рисунками определитель включены 247 видов древесных растений из 90 родов и 37 семейств, произрастающих в естественных природных условиях, а также используемые в озеленении иноземные виды. Для всех семейств, родов и видов дана морфолого-биологическая характеристика. Кроме того, указаны жизненная форма, местообитание, географическое распространение и природоохранное значение, а для интродуцированных форм — их происхождение.

Подобные определители не издавались почти 50 лет, а потому стали библиографической редкостью. Материалом для создания современного издания послужили многолетние исследования (1963—2000) автора, а также литературные источники.

Автор определителя — сотрудник Санкт-Петербургской лесотехнической академии, известный специалист по древесным породам, в частности по ивам.

## Политическая антропология

**Ж.Баландье.** ПОЛИТИЧЕСКАЯ АНТРОПОЛОГИЯ. Пер. с фр. Е.А.Самарской. М.: Научный мир, 2001. 204 с.

Политическая антропология — наука, которая рассматривает человека как *homo politicus* и исследует общие свойства всех политических организаций, признанных в их историческом и географическом различиях. В этом смысле она уже представлена в «Политике» Аристотеля, который изучает человеческое существо как естественно-политическое. Политическая антропология включена в рамках социальной антропологии и этнологии. Она стремится к описанию

и созданию политических систем, свойственных обществам, считающимся примитивными или архаическими.

Книга посвящена запоздалой специализации социальной антропологии — политической, — теорию, методы и результаты которой рассматривает критически. Это первый синтез, первый опыт рассмотрения политических обществ — чуждых западной истории, — обнаруженных антропологами.

На обложке книги — человек в облики Матома, духа тайного общества Поро.

## История науки

**Э.П.Кругляков.** «УЧЕНЫЕ» С БОЛЬШОЙ ДОРОГИ. М.: Наука, 2001. 320 с.

Время, которое переживает наша страна, породило многочисленную армию астрологов, экстрасенсов, «излечивающих» от болезней, неподвластных традиционной медицине. Всякого рода проходимцы, выдающие себя за ученых, вместе с высокопоставленными покровителями нередко устраивают свое благополучие за счет доверчивых людей. Мимикрируя под науку, вся эта толпа лжеученых беззастенчиво и, конечно, небескорыстно дурачит народ.

В последнее десятилетие любой предприимчивый мошенник или фантазер мог рекламировать себя чудо-врачом или гениальным ученым и даже получить у государства средства на реализацию своих бредовых идей. Российская академия наук решила, наконец, пресечь эту практику. Что это — борьба за чистоту науки или новая охота на ведьм? Ответ читатель найдет в книге. Ее автор — академик РАН, физик — в простой и доходчивой форме разоблачает шулеров и проходимцев от науки.

# Астрономические инструменты в обсерватории Улугбека

О.С.Турсунов,  
кандидат физико-математических наук  
Ташкент

После распада Римской империи и распространения в Европе христианства наука заглохла и уступила место суевериям. Почти на тысячу лет Западная Европа погрузилась во мрак средневековья. Но как раз в это время наука получила развитие на Востоке. Высоко почитались точные науки – математика и астрономия. В VIII–X вв. на арабский язык были переведены почти все работы греческих астрономов, в том числе и знаменитый «Альмагест» Птолемея, который только благодаря этому дошел до нас. Арабы построили крупные обсерватории и прославились как искусные наблюдатели. Недаром большинство звезд носит арабские имена: Альтаир, Альдебаран, Алькор... В то время, когда Западная Европа ждала «страшного суда» и конца мира, ученые в степях Средней Азии двигали науку вперед. Яркой фигурой среди них был Улугбек.

Мухаммед Тарагай, прозванный Улугбеком (т.е. Великим правителем), был внуком поистине великого полководца Тимура. Улугбек родился 22 марта 1394 г. В 1409 г. он был объявлен правителем Самарканда, а в 1447 г., после смерти отца, стал главой могущественной династии Тимуридов и правителем всей обширной империи.

Улугбек – один из немногочисленных самодержавных властителей, сочетавших государственную деятельность с плодотворными научными занятиями.

С детства он увлекался науками и литературой. Большую часть времени проводил в богатой библиотеке, собранной его отцом Шахрухом. Повзрослев, собрал вокруг себя группу ученых, с помощью которых около 1425 г. построил величайшую в мире (для той эпохи) обсерваторию. Ее крупнейший инструмент – секстант для измерения высоты кульминации Солнца и Луны – имел радиус 40 м. Это огромное каменное сооружение уходило под землю на 11 м и еще больше возвышалось над землей. Вокруг него была круглая наблюдательная башня диаметром 46 м, на верхней площадке которой располагались приборы для измерения положений звезд.

Используя свои уникальные инструменты, Улугбек достиг небывалой точности астрономических измерений. Одним из первых, после древнегреческого астронома Гиппарха, он отважился составить фундаментальный звездный каталог. Ценность таких каталогов для астрономии очень велика: они помогают проследить за движением звезд и вращением Земли на протяжении многих столетий.

Но научная и просветительская деятельность Улугбека пришлась не по душе многим окружавшим его царедворцам. 27 октября 1449 г. старший сын, подстрекаемый духовенством, убил отца и захватил власть. Обсерватория была разрушена, но его ученикам удалось спасти рукописи. Труд Улугбека «Новые астрономические таблицы», содержащий изложение теоретических основ астрономии и каталог точнейших положений 1018 звезд, опубликован в Оксфорде в 1665 г.

© В.Г.Сурдин,  
кандидат физико-математических наук  
Москва

В мировой научной литературе практически не отражено астрономическое приборостроение в обсер-

ватории Улугбека, а порой представлялось в искаженном виде. Поэтому пришлось вновь обратиться к первоисточникам, т.е. к трактату и письму Гийас ад-Дина Коши [1, 2], что-

бы разобраться, откуда возникло ошибочное представление о главном инструменте, построенном в Самарканде. До приезда в этот город астроном Коши служил у султанов Шахруха

© О.С.Турсунов

и Искандера. Одному из них он посвятил свой труд «Зидж Хакони», а другому — «Трактат об астрономических инструментах», который написан в 1416 г. Затем некоторое время он находился не у дел под родительским кровом.

После строительства медресе в городах Бухаре (1417), Самарканде (1420) и общежития (1423) для суфиев (слушателей), Улугбек приступает к обсуждению проектов обсерватории и астрономических инструментов. По рекомендации Казии-Заде Руми он приглашает Коши, и тот активно подключается к работам по созданию обсерватории. Под сильным впечатлением увиденного пишет (примерно в 1428—1429 гг.) письмо отцу в город Кашан, в котором подробно описывает проекты, этапы строительства обсерватории и ее инструменты.

Непродуманное объединение в одно целое трактата и письма Коши привело некоторых исследователей к некоторым выводам по поводу меридианного инструмента. Такой вывод впервые был сделан Г.Ж.Джалаловым [3] из-за невнимательного прочтения двух совершенно разных текстов Коши. Но, к сожалению, его мнение было поддержано многими авторами [4, 5, 6].

В заблуждение их ввело описание секстанта Фахри и сохранившейся части квадранта Улугбека. В обоих случаях в конструкции дуг инструментов использованы мраморные плиты с выдолбленными канавками для бронзовой основы шкал. С той лишь разницей, что, по описанию Коши, ширина канавки равна примерно 80 мм, глубина — 20 мм, а у Улугбека эти размеры соответственно равны 29 и 15 мм.

Анализируя текст Коши, приходишь к выводу, что каждый инструмент Самаркандской обсерватории уникален и имеет новые технические решения, хотя в основу их положены найденные ранее.

В чем же их уникальность? Ученые обсерватории в Самарканде во главе с Улугбеком понимали, что точности наблюдений на диоптрийных инструментах можно достичь, только увеличив шкалу отсчета. А это требовало увеличения их размеров.

Кроме ученых, к строительству обсерватории были привлечены лучшие мастера. В частности, мастер по меди уstad Ибрахим со своими учениками, Исмаил — фактически прораб. Но Коши не приводит имени архитектора. Об окружении Улугбека он пишет: «Слава Аллаху и его благодеяниям за то, что спустя несколько лет после времени, проведенного мной в родном доме, я оказался в таком великольном городе в окружении таких ученых людей из круга Его Величества, Властителя Мира, человека ученого, мудрого, оказывающего почтение любознательным людям». Еще необходимо отметить, как Улугбек создавал думающий коллектив. «Он даже дал приказание и велел не приходить к единому согласию до тех пор, пока научный вопрос не будет полностью разрешен, и не создавать видимость, что все понятно полностью. И если иногда кто-либо из уважения к Его Величеству соглашался [с его предложениями], то [он бывал недоволен], говоря: «Не уличайте меня в незнании», — пишет Коши.

Первоначально были созданы: **астролябия** с диаметром в один газ (равный 62 см) и **звездный глобус**. На них нанесены 1022 звезды, положения которых были взяты из «Зиджа Ильхани» Насир ад-Дина ат-Туси, после учета прецессии. Однако Коши не указывает диаметр глобуса, хотя он тоже мог быть немалый.

На стене своего дворца Улугбек устанавливает **солнечные часы**. Эта работа представляла определенную трудность из-за того, что стена не была строго ориентирована в меридиане. Но с задачей астрономы справились успешно.

Далее Коши подробно описывает этапы возведения обсерватории: «Была выровнена поверхность земли с целью определения линий меридиана на том месте, где шло строительство обсерватории. К этому делу были привлечены самые лучшие каменщики, после чего земля стала ровной. Мы направились туда с целью нахождения меридиана. Прежде всего захотели проверить, является ли поверхность земли ровной. Его Величество, убежище государства, да увековечит Аллах его состояние и государство, вся аристократия и вельможи, ученые мужи и деятели науки собрались вокруг инструмента каменщиков, приготовленного ими для выравнивания поверхности земли. Специально для обсерватории соорудили треугольник, каждая сторона которого равнялась четырем газам Хошимийа». Это означает, что был создан ватерпас со стороной, равной 2.66 м. Возможно, этим инструментом, помня фундамента здания, контролировалась горизонтальная поверхность крыши. Она стала основой другого не менее важного инструмента — двойного азимутального квадранта.

**Двойной азимутальный квадрант** фактически впервые построен в обсерватории Улугбека взамен армиллярной сферы. С его помощью производились наблюдения звезд каталога «Зидж Гурагони», а также планет и Луны. Фрагменты этого инструмента были обнаружены при раскопках обсерватории в 1941 и 1948 гг. археологом В.А.Шишкиным. Он считает, что до нашего времени не дошли приборы, с помощью которых выполнялись наблюдения звезд каталога Улугбека, «за исключением жалких фрагментов каменных плит от кругов диаметром 8—9 м, на которых сохранились пазы от вставлявшихся в них металлических пластин, а на трех-четырёх фрагментах и буквенные обозначения градусов».

Шишкин относит их к фрагментам «горизонтального кру-

га» двойного азимутального квадранта. Этот инструмент был воспроизведен по манускрипту №7702, хранившемуся в Британском музее. Судя по исследованиям Шишкина, радиусы квадрантов для наблюдений небесных объектов были более 4 м.

Среди уникальных сооружений обсерватории Улугбека имелся меридианный инструмент с радиусом более 40 м, вызвавший наибольшее количество дискуссий. Проект рождался в спорах. Коши пишет: «Никто не знал о назначении геометрической фигуры, стоящей посередине Марагинской обсерватории. Сей раб доложил об этом Его Величеству и объяснил ему разницу в измерении, которая может иметь место при использовании указанного кольца. Я отметил еще то, что во времена Азуд ад-Даула был сделан круг диаметром в 10 газов, а это кольцо меньше того. Взамен этому кольцу в Марагинской обсерватории была установлена геометрическая фигура, называемая Фахриев секстант, полудиаметр которой составляет шесть газов». Из этого описания можно предположить, что в трактате описан секстант Фахри с радиусом дуги равным 3.7 м, построенный в Мараге. Коши рекомендовал изготовить подобный в Самарканде. Но Улугбек рассудил иначе. После длительной дискуссии «Его Величество, — пишет Коши, — приказало разломать это кольцо и создать другой инструмент». То есть, можно сделать вывод, что в Самарканде меридианный инструмент был сконструирован по идее самого Улугбека. А далее в письме следует фраза: «По рекомендации сего раба. Наподобие “Фахриева секстанта”». Поскольку Коши предлагал строить инструмент наподобие Марагинского секстанта ат-Туси, то последнюю фразу надо понимать так: «Дуги инструмента сделать из мраморных плит с канавкой для бронзовой полосы, с делениями градусов, минут, секунд».

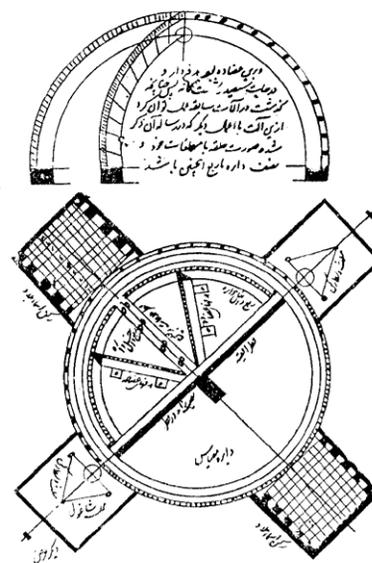
Возникла необходимость произвести детальное сравнение секстанта Фахри и меридианного инструмента Улугбека. Из описания, сделанного Беруни, следует, что секстантом Фахри был инструмент дугой в 60°, который располагался в меридиане затемненного помещения с потолочным диоптром. Началом отсчета была точка, представляющая собой основание отвеса, опущенного из центра потолочного диоптра. Разметка шкалы производилась от нижней точки дуги, указанной отвесом.

Но ал-Ходженди не смог воспользоваться своим творением. Беруни пишет: «Абу Махмуд известил меня устно о погрешности, вкравшейся в его измерения из-за смещения диоптра, установленного наверху арки, вниз, приблизительно на одну пядь (~15 см), и о малых его радостях [от работ] по уточнению [наибольшего склонения]» [7].

В связи с тем что павильон с диоптром был построен раньше инструмента, трудно согласится с изобретателем, будто погрешность возникла из-за «усадки здания с диоптром вниз» на 15 см.

Можно предположить, что ошибка произошла произвольно. Как нам кажется, ал-Ходженди при изготовлении траншеи под инструмент с дугой радиусом 20 м не учел толщину настила из досок и листовой меди для шкалы секстанта, в сумме составлявших 15 см. Но, несмотря на это, его гениальная идея создания инструментов больших размеров была подхвачена и использована астрономами Самарканда. Ими был изготовлен инструмент с дугой 90°, т.е. — **квадрант**.

Коши пишет: «Сейчас основная часть здания обсерватории завершена. Израсходовано примерно 500 туманов (т.е. 5 млн. — О.Т.) жженой кирпичей и алебастра для строительных работ, закончили одну армиллярную сферу. Ведется работа по постройке еще другой». Здесь он говорит о строительстве одной



Фрагмент двойного азимутального квадранта, манускрипт №7702.

дуги квадранта и о начале работ над другой. Простой расчет показывает, что такое количество кирпичей при их размере 26×26×5 см<sup>3</sup> могло уйти не только на строительство одной дуги квадранта, но и на одну боковую опорную стену, которая была по толщине 1.3—1.5 м. На саму же дугу израсходовано примерно 40—50 тыс. кирпичей. Эта опорная стена, как и вторая, — стала фундаментом азимутального двойного квадранта. Всего на две дуги и две стены, заключающие внутри себя квадрант, израсходовали около 10 млн кирпичей. Кроме того, по Коши, строительство здания обсерватории завершено до окончания установки дуг квадранта. Это давало возможность избежать «усадки» стен с диоптром.

Немаловажное подтверждение тому, что инструмент был квадрантом, — отсутствие «мощного фундамента» с южной стороны здания обсерватории напротив щели (между «мощными меридианными стенами», внутри которых расположен квадрант).

При квадранте с южной стороны инструмента должна была находиться щель, через кото-



Стенной квадрант Тихо Браге. Гравюра XVI в.

рую производился процесс «прицеливания небесного объекта» во время ночных наблюдений в диоптр квадранта. А при секстанте вместо щели — глухая стена с «мощным фундаментом». Солнце на этом инструменте наблюдалось при зашторенной щели. Этот немаловажный момент учитывался при реконструкции здания обсерватории.

Кроме того, имеется косвенное подтверждение тому, что в Самарканде был квадрант. Ас-

троном Ж.Н.Делиль в 1739 г. писал: «Для наблюдений, проводившихся в этой школе, использовался квадрант, радиус которого столь велик, как высота храма святой Софии в Константинополе, которую оценивают более чем в 180 футов» [8]. Н.И.Невская по этому поводу пишет: «Интересно отметить, что Делиль твердо придерживался мнения о том, что главный инструмент обсерватории — квадрант. Он следует традиции, идущей от Али-Кушчи, сотруд-

ника Улугбека, работавшего в Константинополе после гибели своего покровителя, где он оставил описание Самаркандской обсерватории и ее инструментов» [9]. Эту же мысль высказывал известный специалист по истории Востока академик В.В.Бартольд [10].

Особое внимание необходимо уделить так называемому **диоптрийному инструменту**. В конце XIV в. строились только диоптрийные инструменты, которые имели собственные названия, а Коши отдельно выделяет безымянный. Это дает основание предположить, что имеется в виду диоптрийное приспособление двойного стенового квадранта (представлявшего собой очень сложную конструкцию), на нем работали одновременно три астронома. Один визировал наблюдаемое в ночное время небесное тело, а двое других производили отсчеты на дугах инструмента.

Теперь необходимо ответить на другой вопрос. Почему  $10^\circ$  (от  $80^\circ$  до  $90^\circ$ ) квадранта Улугбека остались неразмеченными? Это также порождало много различных мнений. Некоторые авторы, чтобы оправдать название инструмента — секстант, — делали попытку исключить дуги от  $0^\circ$  до  $19^\circ$  и от  $80^\circ$  до  $90^\circ$  и тем самым оправдать свое мнение об инструменте. Но это не компетентный подход не только с точки зрения элементарной геометрии, но и изготовления диоптрийных инструментов XV в. «Принцип работы угломерного инструмента ал-Ходженди был использован в XVI в. известным астрономом Тихо Браге при строительстве стенового квадранта в обсерватории «Ураниборг» близ Копенгагена. На старинной гравюре видно, что шкала квадранта отградуирована от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , хотя для наблюдений небесных тел использована дуга в  $75^\circ$ . Ниже этой отметки наблюдения не могли проводиться, так как толщина стены возле окна-диоптра ограничивала обзор неба. Поэтому

Тихо Браге установил на дуге квадранта, на отметке  $75^\circ$  — ограничительный диоптр». По той же самой причине последние  $10^\circ$  (от  $80^\circ$  до  $90^\circ$ ). не были размечены.

Есть еще одна деталь квадранта Улугбека, которая не дает покоя исследователям, — это размер диаметра его диоптра. Беруни, описывая инструмент ал-Ходженди, дает размер диаметра диоптра секстанта равным «одной пяди» (т.е.  $\sim 15$  см). Так как размер радиуса дуг квадранта Улугбека в два раза больше секстанта Фахри, можно предположить, что и диаметр диоптра квадранта будет таким же (т.е.  $\sim 30$  см).

Один из немаловажных моментов строительства инструментов больших размеров — глубина траншеи, в которой помещалась дуга. На первый взгляд может показаться, что секстант ал-Ходженди и квадрант Улугбека произвольно помещались относительно уровня пола павильона на  $10$ — $11$  м. Однако это не так.

Глубина самой нижней точки дуги выбиралась строго с учетом математической и практической целесообразности. Инструмент ал-Ходженди опускался на величину половины радиуса. Это давало возможность точно устанавливать опорные точки для градуировки шкалы дуги. Одна определялась с помощью отвеса, опущенного из центра диоптра на дугу секстанта, вторая — относительно пола. Поскольку радиус секстанта был равен  $40$  локтям (примерно  $20$  м), то глубина траншеи у инструмента ал-Ходженди равна  $10$  м.

Опорных точек у квадранта Улугбека три: первую — у отметки дуги, соответствующей  $90^\circ$ , — находили с помощью отвеса; вторую — у отметки начального штриха  $0^\circ$  — с помощью водяного уровня (оби-тараза), проводимого из центра диоптра до начального штриха дуги; третью — у конечного штриха  $45^\circ$ , который был на уровне пола па-

вильона. Так как радиус квадранта равен  $40.2$  м, то глубина отметки  $90^\circ$  опускалась ниже уровня пола на  $11.8$  м.

В обсерватории Улугбека также построена **армилярная сфера**. Отец Коши пытался послать армилярную сферу, «которая могла бы служить моделью», но сын не захотел этого. Коши писал отцу: «Здесь никто не нуждается в модели армилярной сферы. [Случилось так], что мастеру уstad Ибрахиму — меднику было поручено придти в дом сего раба и в моем присутствии закончить изготовление одной армилярной сферы. В [сооружении] армилярной сферы трудность представляет дело медника, а не знание инструмента, в противоположность астролябии, в которой оба [дела] представляют [одинаковую] трудность. В медных делах [знания] устада Ибрахима были таковы, что когда сей раб наметил две точки: одну над вогнутым кольцом, а другую — над выпуклой его стороной для определения местоположения полюса и над каждым кольцом начертил небольшой круг, тот поместил коловорот на одной из сторон, а на правой его стороне [в наметленном] месте просверлил отверстие. Он сделал десять таких отверстий на всех кольцах так, что ни одно из них не имело недостатков. Точность, с которой кольца подходят друг к другу, не требует никаких комментариев».

Из отрывка письма видно, как лестно Коши отзывался о мастерах, воплощавших идеи астрономов в жизнь.

На этом можно завершить описание астрономических инструментов по письму Коши. Но имеется еще его трактат о них, написанный в  $1416$  г., который также нельзя оставлять без внимания. Поскольку его автор позднее работал в Самаркандской обсерватории, он мог предложить строительство некоторых из них.

Из текста трактата видно, что Коши представлял в  $1416$  г.

султану Искандеру описания инструментов, имевшихся в обсерваториях Мараги, Шираза и Дамаска. Описания носили поверхностный характер. Это позволяет сделать предположение, что до приезда в Самарканд Коши не занимался астрономическим приборостроением. Особенно это видно по описанию секстанта Фахри. Анализируя текст, приходишь к выводу, что Коши не был знаком с описанием Беруни инструмента ал-Ходженди. Вероятнее всего, Коши описывал уже полуразрушенный инструмент Мухаммеда Насир ад-Дина ат-Туси, построенного в Мараге в середине XIII в. Этим, возможно, и объясняется отсутствие у Коши описания павильона и диоптра, а также некоторых других инструментов, изготовленных в Самарканде.

Отсюда следует вывод: только работая в кругу ученых и мастеров обсерватории Улугбека, Коши стал знатоком астрономического приборостроения.

Внимательное прочтение письма Коши отцу показывает, что оно носит субъективный характер, допускаются вольности при разъяснении принципа работы одного и того же инструмента. Меридианный инструмент Самаркандской обсерватории назывался то армилярной сферой, то инструментом, похожим на секстант Фахри. Откуда возникло такое различие? Это легко объяснить. С позиции астронома-наблюдателя Коши объясняет принцип работы меридианного инструмента, называя его армилярной сферой, а при наблюдениях Солнца — инструментом, подобным «секстанту Фахри».

Поэтому письмо Коши отцу не может быть принято как научный трактат. Как пишет Д.Ю.Юсупова, это только «богатый источник по астрономическим инструментам, применявшимся в обсерватории Улугбека».

Все выше перечисленные недостатки не умаляют роль Коши

в создании обсерватории Улугбека. Он — один из ведущих астрономов, активно принимавших участие в строительстве как самой обсерватории, так и ее инструментов. В 1429 г. он умер.

Коши внес большой вклад в создание каталога «Зиджа Улугбека», написав теоретическую часть на арабском языке. В работе принимал участие и учитель Улугбека — Кази-Заде Руми. Он ушел из жизни в 1444 г.

Основная работа легла на астрономов во главе с Улугбеком. Ими были получены точнейшие для того времени значения астрономических постоянных, создан каталог положений 1014 звезд на 1437 г. ■

## Литература

1. *Коши Гийас ад-Дин*. Трактат об астрономических инструментах / Пер. В.А.Шишкина // Тр. Ин-та истории и археол. Ташкент, 1953. Т.5. С.91—94.
2. *Коши Гийас ад-Дин*. Письмо к своему отцу из Самарканда в Кашан / Пер. Д.Ю.Юсуповой // Из истории науки эпохи Улугбека. Ташкент, 1979. С.45—59.
3. *Джалалов Г.Ж.* Обсерватория Улугбека в свете новых данных // Материалы научной сессии АН УзССР. Ташкент, 1947. С.127—136.
4. *Шишкин В.А.* Обсерватория Улугбека и ее исследование // Тр. Ин-та истории и археол. Ташкент, 1953. Т.5. С.15—100.
5. *Булгаков П.Г.* Жизнь и труды Беруни. Ташкент, 1972. С.46.
6. *Уде Ж.-Ф.* Восстановление обсерватории Самарканда // Материалы Междунар. науч. конф., посвященной 600-летию юбилею Мирзо Улугбека. Ташкент, 1994. С.146—148.
7. *Беруни Абу Рейхан*. Избранные произведения. Ташкент, 1966. Т.3. С.137.
8. *Делиль Ж.Н.* Об одной персидской рукописи астрономических таблиц Улугбека. 1739 г. / Пер. Н.И.Невской // Из истории науки эпохи Улугбека. Ташкент, 1979. С.121.
9. *Невская Н.И.* Забытый перевод «Зиджа Улугбека» // Из истории науки эпохи Улугбека. Ташкент, 1979. С.127.
10. *Турсунов О.С.* // Узбек. физ. журн. 1994. №4. С.8—18.

# ПРИОДА

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**  
**Л.М.ФЕДОРОВА**

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 15.01.2002  
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 5148  
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»  
Академиздатцентра «Наука» РАН,  
121099, Москва, Шубинский пер., 6