

# ПРИРОДА

2 04



**В НОМЕРЕ:**

**3** **Бялко А.В.**  
**Конкурс популярных статей РФФИ**

**5** **Копылов А.В.**  
**Солнечные нейтрино:  
новые результаты**

*Нейтринная обсерватория в Садбери продолжает поставлять все более детальную информацию о солнечных нейтрино. Последние данные доказывают: на характер осцилляций электронных нейтрино влияет взаимодействие с электронами вещества Солнца.*

**12** **Ковальзон В.М.**  
**Мелатонин — без чудес**

*Наконец стало ясно, что «чудесная» роль эпифизарного гормона мелатонина вовсе не в продлении жизни, а в том, что он служит важнейшим элементом в гормональной системе млекопитающих.*

**Лекторий**

**20** **Еремин В.В.**  
**Квантовый хаос в химии**

*Этот хаос чрезвычайно распространен, но весьма редко наблюдаем. В некоторой степени он противостоит вмешательству во внутреннюю жизнь молекул и делает малоэффективными попытки управлять образованием и разрывом химических связей.*

**Калейдоскоп**

**26**  
*Нелепый закон — угроза палеонтологической древности (26). Памятник в космосе (31). Обломок астероида для Японии (31). Из Китая песок унесло в Альпы (31). Игрушки в океане (31).*

**27** **Константинов М.М.**  
**Автогенерационные  
рудообразующие системы**

**Вести из экспедиций**

**32** **Свиточ А.А., Ключевкина Т.С.**  
**Бэрвские бугры —  
загадка Северного Прикаспия**

**39** **Токранов А.М., Орлов А.М.**  
**Морские слизи**

**Заметки и наблюдения**

**44** **Булавинцев В.И.**  
**Синица синице рознь**

**50** **Аплонов С.В., Лебедев Б.А.,  
Тимошенкова Н.В.**  
**Нефть Мезенского бассейна:  
иллюзия или надежда?**

*Получение промышленных притоков нефти в Мезенском бассейне сможет решить проблему европейской части России, испытывающей острую потребность в углеводородном сырье.*

**Научные сообщения**

**62** **Чесалин М.В., Игнатьев С.М., Царин С.А.**  
**Рост численности бычка-бланкета  
в Черном море**

**Басов И.А.**  
**Мониторинг геохимических  
процессов в аккреционной призме  
(196-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн») (64)**

**Лысюк Г.Н.**  
**Биоминеральные микроструктуры  
оксидных марганцевых агрегатов (65)**

**Биография современника**

**69** **Блох А.М.**  
**Встречи с И.Р.Пригожиным**

**Архивные SMS-ки**

**76**  
**Академик Марр опять прав?**

**Новости науки**

**77**  
Сверхновые типа Ia взрываются несимметрично (77). Ближайший космический мираж (77). Комета Галлея снова видна **Сурдин В.Г.** (78). Подземные воды Марса (79). Первый абелевский лауреат (80). Трагедия Хиросимы: новые исследования (80). «Культурные» традиции orangutanов (80). Малонарушенные лесные территории России (81). Эволюция подводных каньонов Австралии (81). Кипящие фонтаны среди льдов (82). Вулканы предстают в новом свете (82). Вулканы инициируют Эль-Ниньо? (83). Эль-Ниньо и засухи в Азии (84). Климатические экстремумы в Европе (84). Изменчивость атмосферы над Южной полярной областью (84). Баиноцератопс Ефремова — рогатый динозавр Монголии **Алифанов В.Р., Терещенко В.С.** (85). Южноафриканские гоминиды сильно постарели (85). Шумерская школа счетного искусства (86).

**Рецензии**

**87** **Лисицын А.П.**  
**Одиссея подводного флота России**

**Новые книги**

**91**  
**Встречи с забытым**  
**93** **Василенко Ж.Г.**  
**Она признавала верховенство  
растений над всем живым в природе**

## CONTENTS:

- 3** **Byalko A.V.**  
**Science Popularizers' Contest**

- 5** **Kopylov A.V.**  
**Solar Neutrinos: New Results**  
*The Sudbury Neutrino Observatory continues to supply increasingly detailed information on solar neutrinos. The most recent data indicate that the pattern of electron neutrino oscillations is influenced by interaction with electrons from the Sun.*

- 12** **Kovalzon V.M.**  
**Melatonin: No Miracles**  
*It is finally clear that the «miraculous» role of the pineal hormone melatonin consists not in prolonging life but in that it is a most important element in the hormonal system of mammals.*

### Lectures

- 20** **Eremin V.V.**  
**The Quantum Chaos in Chemistry**  
*Although extremely widespread, this kind of chaos is rarely observable. To some extent, it protects molecules from any external influences, greatly impeding attempts to control bond formation and breaking.*

### Kaleidoscope

- 26**  
*An Absurd Law Poses a Threat to Fossil Remains (26). A Monument in Outer Space (31). An Asteroid Fragment for Japan (31). Sand Blown from China into the Alps (31). Toys in the Ocean (31).*

- 27** **Konstantinov M.M.**  
**Self-generative Ore-forming Systems**

### News from Expeditions

- 32** **Svitoch A.A. and Klyuvitkina T.S.**  
**Baire Hillocks: An Enigma of the Northern Peri-Caspian Area**

- 39** **Tokranov A.M. and Orlov A.M.**  
**Snailfishes**

### Notes and Observations

- 44** **Bulavintsev V.I.**  
**Titmice Differ Widely**

- 50** **Aplonov S.V., Lebedev B.A., and Timoshenkova N.V.**  
**Oil in the Mezen Basin: An Illusion or a Hope?**

*Commercial oil inflows in the Mezen Basin would fill the critical need for hydrocarbons that exists in European Russia.*

### Scientific Communications

- 62** **Chesalin M.V., Ignatyev S.M., and Tsarin S.A.**  
**Population Growth of the Transparent Goby in the Black Sea**

- Basov I.A.**  
**Monitoring Geochemical Processes in an Accretionary Prism (196th Cruise of the JOIDES Resolution) (64)**

- Lysyuk G.N.**  
**Biominerals Microstructures of Manganese Oxide Nodules (65)**

### Biography of our Contemporary

- 69** **Blokh A.M.**  
**Encounters with I.R. Prigogine**

### Archival SMSs

- 76**  
**Is Academician Marr Right Again?**

### Science News

- 77**  
*Type Ia Supernovae Explode Asymmetrically (77). The Nearest Cosmic Mirage (77). Comet Halley Is Again Visible. **Surdin V.G.** (78). Underground Waters on Mars (79). The First Abel Prize Winner (80). The Hiroshima Tragedy: New Studies (80). «Cultural» Traditions of Orangutans (80). Nearly Undisturbed Forest Regions in Russia (81). Evolution of Australian Underwater Canyons (81). Boiling Fountains in the Midst of Ice (82). Volcanoes Appearing in a New Light (82). El Nino Events Are Triggered by Volcanoes? (83). El Nino and Droughts in Asia (84). Climate Extremes in Europe (84). Atmospheric Variability over the South Pole Region (84). The Efremov Bainoceratops — A Horned Dinosaur in Mongolia. **Alifanov V.R.** and **Tereshchenko V.S.** (85). Southern African Hominids Are Much Older Now (85). The Sumerian School of Calculation (86).*

### Book Reviews

- 87** **Lisitsyn A.P.**  
**The Odyssey of the Russian Submarine Fleet**

### New Books

- 91**  
**Encounters with the Forgotten**  
**93** **Vasilenko Zh.G.**  
**She Recognized the Supremacy of Plants over All Forms of Life**

# Конкурс популярных статей РФФИ



В ноябре прошлого года Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) подвел итоги очередного, шестого конкурса научно-популярных статей среди участников исследовательских проектов. К сожалению, резко уменьшилось как число статей, представляемых на конкурс, так и количество лауреатов. Из объявленных 42 вакансий в 2003 г. присуждено только 28 премий. Трудно сказать, чем вызван такой спад, размер премии не мал. Возможно, причина в одновременности срока подачи заявок на конкурсы грантов и научно-популярных статей. В то же время строгость отбора лауреатов не слабеет год от года, и содержательность статей-победителей достойна уровня российской науки. Вот они:

## МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

**Блехман И.И.** Вибрационная механика — новый раздел теории нелинейных колебаний (Институт проблем машиноведения РАН).

## ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

**Волокитин А.И.** Радиационная передача тепла и вакуумное трение (Самарский государственный технический университет);

**Ефремов Ю.Н.** Звездные сверхскопления и сверхассоциации (Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга МГУ);

**Иванов-Шиц А.К., Демьянец Л.Н.** Материалы ионники твердого тела: от монокристаллов до наноструктур (Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН);

**Сидоренков Н.С.** Нестабильности вращения Земли (Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ «Гидрометцентр России»);

**Сурдин В.Г.** Происхождение двойных звезд (Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга МГУ).

## ХИМИЯ

**Брегадзе В.И., Сиваев И.Б.** Лекарство-снайпер (Институт элементоорганических соединений им.А.Н.Несмеянова РАН).

## БИОЛОГИЯ И МЕДИЦИНСКАЯ НАУКА

**Бейер Т.В., Свежова Н.В.** Протозойный патоген проникает в живую клетку по принципу «тройного коня» (Институт цитологии РАН);

**Добровольский В.В.** Проникновение в механизмы биосферы: роль органического вещества почв в миграции тяжелых металлов (Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский педагогический государственный университет»);

**Лабас Ю.А., Фрадков А.Ф., Гордеева А.В.** Белки, которые потрясли мир (Институт биохимии им.А.Н.Баха РАН);

**Хуснутдинова Э.К., Животовский Л.А.** Генетическая история человечества (Институт биохимии и генетики Уфимского научного центра РАН);

**Шарова Н.П., Абрамова Е.Б., Карпов В.Л.** Протеасома: разрушать, чтобы жить (Институт биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН);

**Щеглов А.И., Цветнова О.Б.** Грибы — биоиндикаторы техногенного загрязнения (факультет почвоведения МГУ).

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

**Войтеховский Ю.Л.** О кристаллах, полиэдрах, радиоляриях, вольфоксах, фуллеренах, футболе, регби и немного — о природе вещей (Геологический институт КНЦ РАН);

**Леонов М.Г.** Поэзия Кавказских гор (Геологический институт РАН);

**Родников А.Г., Забаринская Л.П., Сергеева Н.А.** Осадочные бассейны: глубинные причины их образования (Геофизический центр РАН);

**Табулевич В.Н., Потапов В.А., Черных Е.Н., Дреннова Н.Н.** Влияние штормовых вибраций на землетрясения (Институт земной коры СО РАН, Иркутск);

**Уфимцев Г.Ф., Щетников А.А.** Тункинский рифт (Институт земной коры СО РАН, Иркутск);

**Цветков Д.Г., Осипова Г.Б.** Что дает мониторинг пульсирующих ледников (Институт географии РАН).

### **НАУКИ О ЧЕЛОВЕКЕ И ОБЩЕСТВЕ**

**Жабский М.И.** Глобализм и функции кино в обществе (социологический факультет МГУ);

**Клюев Н.Н.** Международный экологический налог (Институт географии РАН);

**Куренкова Е.И., Величко А.А., Грибченко Ю.Н.** Позднепалеолитический человек заселяет Русскую равнину (Институт географии РАН);

**Леменовский Д.А., Гарбар Н.М., Брусова Г.П., Локшин Б.В.** Восстановить мгновение (химический факультет МГУ);

**Саблин М.В.** Между волком и собакой (Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург);

**Шмелев А.Д., Зализняк А.А., Левонтина И.Б.** Ключевые идеи русской языковой картины мира (Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский педагогический государственный университет»).

### **СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ**

**Воеводин В.В., Филамофитский М.П.** Суперкомпьютер на выходные (Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ);

**Земсков А.И., Евстигнеева Г.А.** Новые тенденции развития мирового рынка научных публикаций. Роль и место библиотек в данном процессе (Государственная публичная научно-техническая библиотека России);

**Соколинский Л.Б.** Стратегия замещения или как освободить место в буфере (Челябинский государственный университет).

Наш журнал поздравляет лауреатов. Их статьи будут опубликованы в сборнике, название которого начинается словами «Российская наука». Вышло уже шесть таких сборников:

**Российская наука: выстоять и возродиться (М.: Физматлит–Наука, 1997);**

**Российская наука: день нынешний и день грядущий (М.: Academia, 1999);**

**Российская наука: грани творчества на грани веков (М.: Научный мир, 2000);**

**Российская наука на заре нового века (М.: Научный мир, 2001);**

**Российская наука: дорога жизни (М.: Октопус, 2002);**

**Российская наука: «Природой здесь нам суждено...» (М.: Октопус, 2003).**

Все эти сборники были отредактированы и подготовлены к печати сотрудниками нашего журнала.

© **А.В.Бялко**,  
доктор физико-математических наук,  
заместитель главного редактора журнала «Природа»  
Москва

# Солнечные нейтрино: новые результаты

А.В.Копылов

**Ж**изнь на Земле существует только благодаря солнечной энергии. По современным представлениям, выделение энергии Солнца связано с протеканием в его недрах термоядерных реакций. В ходе этих реакций из ядер водорода образуются ядра гелия и некоторых более тяжелых элементов, а также рождаются нейтрино. В силу огромной проникающей способности последние легко выходят из недр Солнца и могут дать нам информацию о ходе ядерных процессов. Исторически первый эксперимент по детектированию солнечных нейтрино (конец 60-х годов) — эксперимент Дэвиса — ставил задачу получить экспериментальное подтверждение того, что источником солнечной энергии являются именно термоядерные реакции. После сорока лет титанической работы и постановки более совершенных экспериментов факт нейтринного солнечного излучения надежно установлен, и сейчас изучение солнечных нейтрино вступило в фазу детальных исследований. Чуть ли не каждый год мы слышим о новых достижениях в этой области науки. Важнейший результат последних лет — нейтрино осциллирует и, следовательно, имеет мас-



*Анатолий Васильевич Копылов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института ядерных исследований РАН. Область научных интересов — исследование солнечных нейтрино. Ведет работы по созданию литиевого детектора.*

су. Благодаря этому открытию расширяются представления стандартной модели элементарных частиц. Более того, доказано, что нейтрино осциллирует с большим углом смешивания, но максимальное смешивание, наблюдаемое в экспериментах с атмосферными (мюонными) нейтрино, для электронных нейтрино исключается. И наконец, при прохождении последних через вещество Солнца наблюдается так называемый эффект Михеева—Смирнова—Вольфенштейна (МСВ), связанный с взаимодействием электронных нейтрино с электронами вещества, который влияет на характер осцилляций. Такое заключение сделано по данным, полученным в сентябре про-

шлого года в эксперименте SNO (Нейтринная обсерватория в Садбери, Канада), см., например, препринт [1] в Интернете. Наш журнал неоднократно обращался к теме солнечных нейтрино [2—6]. Что же такое осцилляции нейтрино и что такое МСВ-эффект?

## Нейтринные метаморфозы

В процессах, связанных со слабым взаимодействием, каждому типу нейтрино сопутствует свой заряженный лептон: электронному нейтрино — электрон, мюонному — отрицательный мюон, а тау-нейтрино — отрицательный тау-леп-

© Копылов А.В., 2004

тон. Однако определенное нейтрино, родившись в результате заданной реакции, со временем может изменять свои свойства. Это происходит, потому что нейтрино каждого из перечисленных выше типов на самом деле является суперпозицией нескольких массовых состояний ( $m_1, m_2, \dots$ ), которые при рождении смешиваются с определенными весами. Поскольку при одной и той же энергии разным массам соответствуют разные импульсы (разные длины волн), в процессе движения накапливается расхождение по фазам различных состояний. А в терминах исходных состояний мы получаем суперпозицию нейтрино разных типов. В итоге в потоке, например, электронных нейтрино возникает примесь нейтрино мюонных. Конечно, с физической точки зрения, наше рассуждение не очень строгое, оно носит грубо качественный характер. Строгое рассмотрение требует решения эволюционного уравнения, т.е. временной части уравнения Шредингера, которое связывает нейтрино разных типов (электронные, мюонные, тау) и их различные массовые состояния в каждый момент времени. Результаты расчетов следует сопоставлять с экспериментом. Предполагается, что трем типам нейтрино соответствуют три массовых состояния\*. Решение эволюционного уравнения дает вероятности для разных процессов. Например, вероятность, что электронное нейтрино сохранилось как электронное, в случае двух массовых состояний

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_e) = 1 - \sin^2 2\theta_{12} \cdot \sin^2(\Delta m_{12}^2 r(t)/E). \quad (1)$$

Здесь  $\theta_{12}$  — угол смешивания, который при максимальном смешивании, когда массы 1 и 2 представлены с равным весом, равен  $45^\circ$ , а  $\Delta m_{12}^2$  — разность квадратов масс ( $m_2^2 - m_1^2$ ). При достаточно больших  $\Delta m_{12}^2$ ,

\* Это следует из экспериментов на установке LEP по распадам нейтрального промежуточного бозона  $Z^0$ .

если размер источника намного превышает величину  $E/\Delta m_{12}^2$ , происходит усреднение по состояниям, и формула (1) принимает особенно простой вид:

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_e) = 1 - 1/2 \sin^2 2\theta_{12}. \quad (2)$$

Это реализуется, например, для солнечных нейтрино. В случае трех масс нужно учитывать примесь третьей массы и тогда для малых углов  $\theta_{13}$

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_e) = (1 - 2\sin^2 \theta_{13}) \cdot (1 - 1/2 \sin^2 2\theta_{12}).$$

В экспериментах с реакторными антинейтрино (эксперимент CHOOZ во Франции) и атмосферными нейтрино (эксперимент KamioKande и Super-KamioKande в Японии) было показано, что угол  $\theta_{13}$  очень мал: на  $\sin^2 \theta_{13}$  установлено ограничение сверху на уровне 0.05—0.07. Сейчас очень остро стоит вопрос, полностью ли «развязаны» осцилляции типа  $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$  и  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ ? Если да, то угол смешивания между массовыми состояниями 1 и 3, т.е.  $\theta_{13}$  должен быть строго равен нулю (у электронного нейтрино нет примеси третьего массового состояния). Принципиально важно повысить точность этого результата. С этой целью планируются новые эксперименты с реакторными антинейтрино. В экспериментах с атмосферными нейтрино были зарегистрированы осцилляции типа  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  с максимальным углом смешивания, но пока не ясно, насколько точно это условие выполняется.

Пока мы рассматривали осцилляции нейтрино в вакууме. Если нейтрино оказывается в веществе, поведение нейтрино может измениться — как именно, предсказывает МСВ-эффект [2]. Рассмотрим его на чисто качественном уровне. Дело в том, что при движении в веществе нужно учитывать упругое рассеяние частицы на электронах вещества. Оно различно для нейтрино электронного и нейтрино какого-либо другого типа, например, мюонного: первое имеет больше каналов рассеяния.

Оно может рассеяться на электроны, оставаясь нейтрино, а может рассеяться, поменявшись с электроном лептонным зарядом, т.е. нейтрино при рассеянии превратится в электрон, а электрон — в нейтрино. У мюонного нейтрино такой возможности нет, она была бы при рассеянии нейтрино на мюоне, но вещество не состоит из мюонов. За счет различия в механизме рассеяния нейтрино электронное взаимодействует с электронами среды с большей вероятностью (сечением реакции), чем мюонное. А взаимодействие сообщает нейтрино дополнительную массу при движении в среде. Если среда достаточно плотная, электронное нейтрино, более легкое в вакууме, в среде может «потяжелеть» настолько, что станет массивнее мюонного. По мере того как плотность среды падает, масса электронного нейтрино уравнивается с массой нейтрино мюонного, и тогда при определенных условиях может произойти превращение первого во второе. В качестве аналогии можно привести систему двух связанных колебательных контуров. Когда частоты совпадают, энергия одного контура перекачивается в другой намного эффективнее. На математическом языке все это описывается системой эволюционных уравнений (см., например, [7]):

$$i \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = (H_{\text{dyn}} + H_{\text{kin}}) \begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix}.$$

Здесь слагаемые  $H_{\text{dyn}}$  и  $H_{\text{kin}}$  обозначают вклад в гамильтониан динамической части (ответственной за МСВ-эффект) и кинетической части (ответственной за вакуумные осцилляции). Гамильтониан описывает «интенсивность» каждого процесса: осцилляций и превращений МСВ. При этом динамическая часть пропорциональна электронной плотности вещества, а кинетическая — отношению  $\Delta m^2/4E$ , где  $\Delta m^2$  — разность квадратов масс массовых состояний

нейтрино в вакууме, а  $E$  — энергия нейтрино. Из приведенных выражений ясно, что при больших  $\Delta m^2$  и малых энергиях кинетический член может превысить динамический, т.е. вакуумные осцилляции будут преобладать над превращениями МСВ (если только плотность вещества, а точнее, электронная плотность, не слишком высока). Поэтому, если  $\Delta m^2$  слишком велико, то даже солнечной плотности не хватит, чтобы взаимодействие с электронами среды «прибавило» нейтрино электронному избыточную массу, достаточную для уравнивания с нейтрино мюонным. И тогда вакуумные осцилляции преобладают над превращениями МСВ. Вероятность выживания электронных нейтрино в случае МСВ-эффекта

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_e) \approx \sin^2 \theta_{12}. \quad (3)$$

Различие с выражением (2) очевидно. Здесь следует заметить, что по данным о разности квадратов масс нельзя сделать однозначного вывода о величине самой массы нейтрино. В настоящее время допускаются три возможные схемы масс: прямая, инвертированная и вырожденная (рис.1). В случае, если реализуется один из двух последних вариантов, появляются неплохие возможности для определения абсолютной величины массы нейтрино в экспериментах по двойному бета-распаду. Точнее, могут появиться, если нейтрино — майорановская частица, т.е. нейтрино и антинейтрино, по сути дела, одна и та же частица, а их наблюдаемое различие в экспериментах объясняется разной спиральностью состояний (нейтрино рождается левым, антинейтрино — правым). Для имеющей массу майорановской частицы наряду с левым компонентом всегда присутствует правый, антинейтринный компонент. Чем больше масса — тем больше этот компонент и тем легче зарегистрировать двойной бета-распад (процесс, в котором родившееся внутри ядра нейтрино там же должно

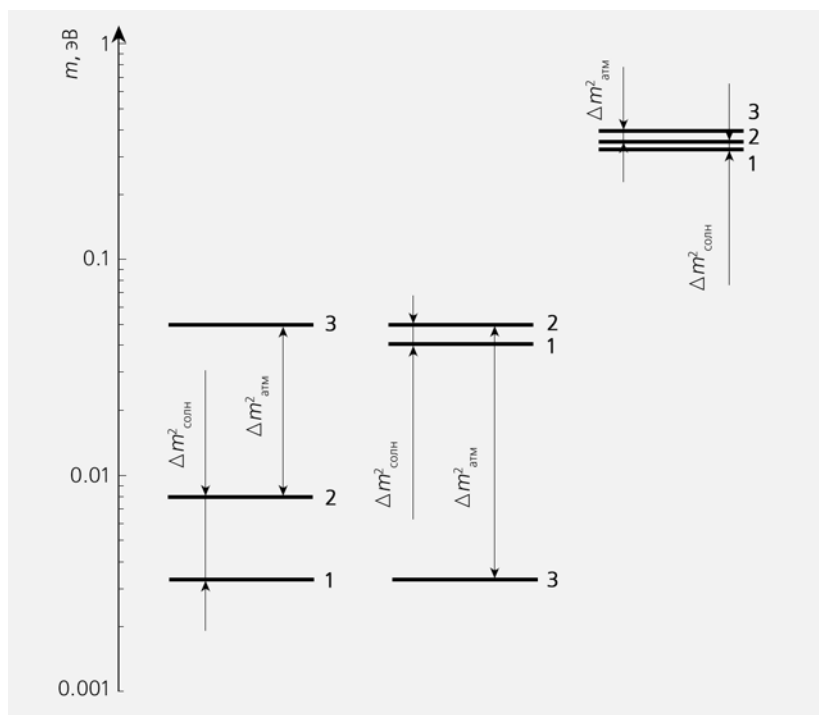


Рис. 1. Прямая, инвертированная и вырожденная схемы масс нейтрино.

$\Delta m_{\text{атм}}^2$  — разность квадратов масс для осцилляций  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$

$\Delta m_{\text{солн}}^2$  — разность квадратов масс для осцилляций  $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$ .

поглотиться, но уже как антинейтрино). Показано, что для прямой схемы масс шансы у эксперимента зарегистрировать двойной бета-распад практически нулевые. Для инвертированной схемы эксперимент имеет шанс на успех, если по масштабу он способен «увидеть» массу примерно 0.015 эВ. Если реализуется схема с вырожденными (большими) массами, регистрация двойного бета-распада будет более вероятной. Кроме того, в последнем случае есть определенная перспектива измерить массу нейтрино по бета-спектру трития. На это нацелен будущий эксперимент KATRIN, планируемый сотрудничеством российских и германских лабораторий. Важные ограничения на массу нейтрино сейчас получают из космологии, в частности, по анизотропии микроволнового фона, а также по данным о крупномасштабной структуре Вселенной и о синтезе легких

элементов во время Большого взрыва. Верхний предел, установленный в настоящее время на сумму масс нейтрино всех типов, составляет 0.66 эВ на уровне двух стандартных отклонений [8]. Но каждая из этих тем заслуживает отдельного разговора, поэтому вернемся к уже полученным результатам.

## Что дает эксперимент

Здесь мы будем рассматривать эксперименты с солнечными нейтрино, так что речь пойдет об осцилляциях нейтрино электронного и нейтрино мюонного. Итак, что же нового сделано в эксперименте SNO? Детектор в Садбери регистрирует только нейтрино сравнительно высоких энергий от распада ядра  ${}^8\text{B}$  с верхней энергией нейтрино 14 МэВ. Если кратко: с более высокой точностью измерены полный поток борных нейт-



рино от Солнца и доля  $\nu_e$  в суммарном потоке. Эта доля составляет величину  $0.306 \pm 0.026 \pm \pm 0.024$  (ранее измеренная величина имела гораздо большую погрешность  $0.35 \pm 0.07$ ). Первая из приведенных погрешностей (на уровне одного стандартного отклонения) определяется статистической, а вторая — систематической погрешностью измерений. Таким образом, в потоке борных нейтрино от Солнца только треть — нейтрино электронные, остальные две трети — мюонные и тау-нейтрино. Тот факт, что вероятность выживания электронных нейтрино гарантированно меньше одной второй, и доказывает, что при прохождении через вещество Солнца борные нейтрино испытывают действие эффекта Михеева—Смирнова—Вольфенштейна. Для вакуумных осцилляций вероятность выживания электронных нейтрино чуть больше одной второй — см. формулу (2). Именно такая величина определяет поток нейтрино низких энергий ( $pp$ -нейтрино), претерпевающих вакуумные осцилляции и дающих ос-

новной вклад в галлиевом эксперименте (SAGE на Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН и GALLEX/GNO в лаборатории Гран-Сассо в Италии). Сопоставление данных эксперимента SNO и результатов других экспериментов с солнечными нейтрино (хлорного, галлиевого, SuperKamiokande), а также первых данных (декабрь 2002 г.) эксперимента KamLAND в Японии с антинейтрино от реакторов позволило более точно установить параметры нейтринных осцилляций: разность квадратов масс и угол смешивания. Они составили соответственно

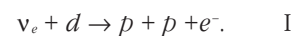
$$\Delta m^2 = 7.1_{-0.6}^{+1.2} \cdot 10^{-5} \text{ эВ}^2, \\ \theta = 32.5_{-2.3}^{+2.4} \text{ градуса.}$$

До того, как был получен данный результат, допустимая область разности квадратов масс содержала еще подобласть выше уровня  $10^{-4} \text{ эВ}^2$ . Если бы Природа выбрала для  $\Delta m^2$  такие значения, вероятность выживания электронных нейтрино при МСВ-эффекте была бы близка к вероятности для вакуумных осцилляций, и вопрос, работает

эффект Михеева—Смирнова—Вольфенштейна или нет, был бы отложен на неопределенное время. Нам повезло, Природа сделала выбор в нашу пользу. На рис.2 [7] изолинии (линии с заданной вероятностью выживания борных нейтрино) приведены по результатам детальных расчетов для двух случаев: с учетом МСВ-эффекта (вид слева) и только для вакуумных осцилляций (вид справа). На левой диаграмме видно, что для  $\Delta m^2$  ниже уровня  $10^{-4} \text{ эВ}^2$  и  $\sin^2\theta=0.29$  (а именно такой угол зафиксировал эксперимент) вероятность выживания электронных нейтрино составляет 0.3, в то время как на правой она близка к 0.6. Эксперимент зафиксировал величину 0.3, что и доказывает существование превращений МСВ. Если бы реализовалось значение  $\Delta m^2$  выше  $10^{-4} \text{ эВ}^2$ , то для МСВ вероятность выживания была бы тоже близка к 0.5 и ничего определенного утверждать было бы нельзя. Из сравнения двух диаграмм становится понятно, при каких параметрах вещество влияет на механизм осцилляций. Область, где картинка разительно отличается, простирается ниже уровня  $(2-3) \cdot 10^{-4} \text{ эВ}^2$  по  $\Delta m^2$  и левее примерно 0.4 по  $\sin^2\theta$ .

### Как повысить точность

За счет чего в эксперименте SNO удалось так существенно продвинуться в определении потока борных нейтрино? Рабочим веществом там, как известно, служит тяжелая вода с общей массой 1000 т. Наблюдаются три канала взаимодействия нейтрино с веществом мишени. Первый канал — так называемые заряженные токи. Он работает только для электронных нейтрино, которые, взаимодействуя с ядром дейтерия, превращают его в два протона и электрон:



Заряженными токами этот процесс называется, потому что

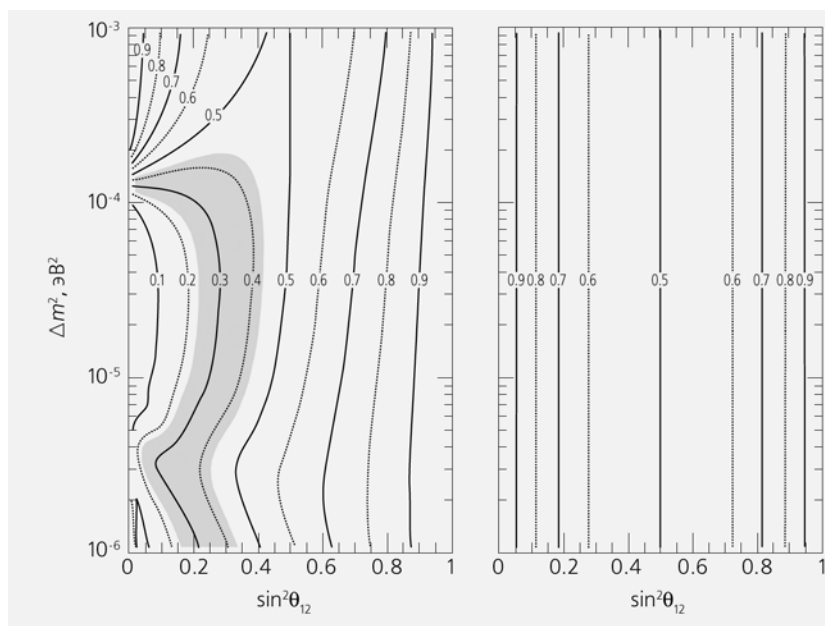
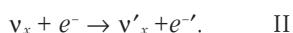
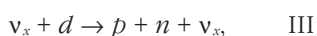


Рис.2. Изолинии вероятности выживания электронных нейтрино от распада  $^8\text{B}$ . Слева — когда работает МСВ-эффект, справа — для чисто вакуумных осцилляций.

здесь исходный лептон ( $\nu_e$ ) в процессе взаимодействия переходит в свою заряженную модификацию ( $e^-$ ). Электрон регистрируется по черенковскому излучению, сопровождающему любую релятивистскую заряженную частицу при ее движении в достаточно плотной прозрачной среде. По второму каналу наблюдают упругое рассеяние нейтрино на электронах атомов вещества мишени.



Такую реакцию способны вызвать любые нейтрино, но в отличие от электронных мюонных или тау-нейтрино вызывают ее с вероятностью примерно в шесть раз более низкой (для борных нейтрино), т.е. сечение реакции в шесть раз меньше. Здесь определяется поток электронных нейтрино плюс не электронных, но с весом 1/6. И, наконец, третий канал — это канал нейтральных токов



когда на входе и выходе мы имеем нейтрино, т.е. зарядовое состояние лептонов не меняется. Эту реакцию вызывают нейтрино всех типов (электронные, мюонные, тау) с равной вероятностью. Характерно, что здесь рождается нейтрон, и скорость его генерации определяет суммарный поток нейтрино, падающий на детектор.

На первом этапе эксперимента с чистой тяжелой водой использовался захват нейтрона ядром дейтерия, в результате чего излучался гамма-квант с энергией 6.25 МэВ, который испытывал комптоновское рассеяние на электронах (именно они регистрировались по черенковскому излучению). На втором этапе эксперимента в тяжелой воде растворили две тонны поваренной соли и нейтроны захватывались преимущественно изотопом  $^{35}\text{Cl}$ , при этом возникал каскад гамма-квантов с полной энергией 8.6 МэВ. В последнем случае удалось добиться увеличения

эффективности регистрации нейтрона примерно в три раза. В случае каскада гамма-квантов событие отличается большей изотропией, поскольку здесь рассеиваются несколько электронов, причем в разных направлениях. Такое событие легко выделить на фоне событий с одним электроном, пусть с тем же энерговыделением. Это и стало решающим фактором в получении более качественного результата. Отношение частот наблюдения реакции I к реакции III дает долю электронных нейтрино в полном потоке, которое приведено выше. Следует отметить, что точность измерения указанного отношения настолько высока, что вывод о реальности МСВ-эффекта может быть сделан с достаточной достоверностью (более 95%) уже на основании одних только данных эксперимента SNO. Если же объединить их с полученными в других экспериментах, то истинность этого фундаментального результата практически не вызывает сомнений. И все-таки следует добиться подтверждения независимым образом. Возможно, его даст эксперимент KamLAND, где продолжают набирать статистику. Если там область разности квадратов масс выше уровня  $10^{-4}$  эВ<sup>2</sup> будет надежно исключена, это станет окончательным доказательством реальности МСВ-эффекта. (Можно найти подробную информацию о данных эксперимента SNO в [1], а об их интерпретации в [7].)

Последние данные эксперимента SNO показывают, что в настоящее время исследования солнечных нейтрино вступили в эпоху прецизионных измерений. На этом этапе весьма существенным является ограничение по светимости. Дело в том, что поток энергии от Солнца, падающий на границу атмосферы Земли (солнечная постоянная), известен с очень высокой точностью:  $q=8.7 \cdot 10^{11}$  МэВ/см<sup>2</sup>с (1360 Вт в расчете на кв.м зем-

ной поверхности). Если бы Солнце излучало только  $pp$ -нейтрино, то поток нейтрино находился точно из простого факта, что на каждое нейтрино приходится 26 МэВ энергии: достаточно разделить солнечную постоянную на 26 МэВ. Сложность в том, что помимо  $pp$ -нейтрино на Солнце генерируются также и другие:  $pep$ , бериллиевые, борные, нейтрино от CNO-цикла. Поскольку потоки нейтрино точно не измерены, вклад в энергию Солнца реакций, генерирующих эти нейтрино, пока не известен. Существует уравнение баланса энергии:

$$0.913f_{pp} + 0.002f_{pep} + 0.07f_{Be} + 0.0071f_N + 0.0079f_O = 1.$$

Коэффициенты в уравнении получены расчетным путем, а потоки надо находить из эксперимента. Потоки  $f$  и энергия пронормированы на предсказанные солнечной моделью. Смысл каждого коэффициента — доля энергии, которая приписывается каждому типу нейтрино. Например, согласно Стандартной солнечной модели, бериллиевые нейтрино связаны с 7% солнечной энергии, а азотные и кислородные нейтрино (рождающиеся в CNO-цикле), вместе взятые, — только с 1.5%. Если измерить поток бериллиевых нейтрино с точностью 10%, то можно определить их вклад в энергетику Солнца с точностью 0.7%. Если еще измерить поток нейтрино от CNO-цикла с точностью 20—30%, неопределенность в вычислении доли  $pp$ -нейтрино составит меньше 1%. А это позволит найти поток  $pp$ -нейтрино в источнике (в месте их генерации на Солнце) с точностью 1% (потоки  $pp$ - и  $pep$ -нейтрино жестко увязаны между собой) — исключительно благодаря тому, что основной вклад в энергетику Солнца дают реакции, в которых рождаются  $pp$ -нейтрино. Для других нейтрино получить такую точность дело практически невозможное. Здесь есть определенный

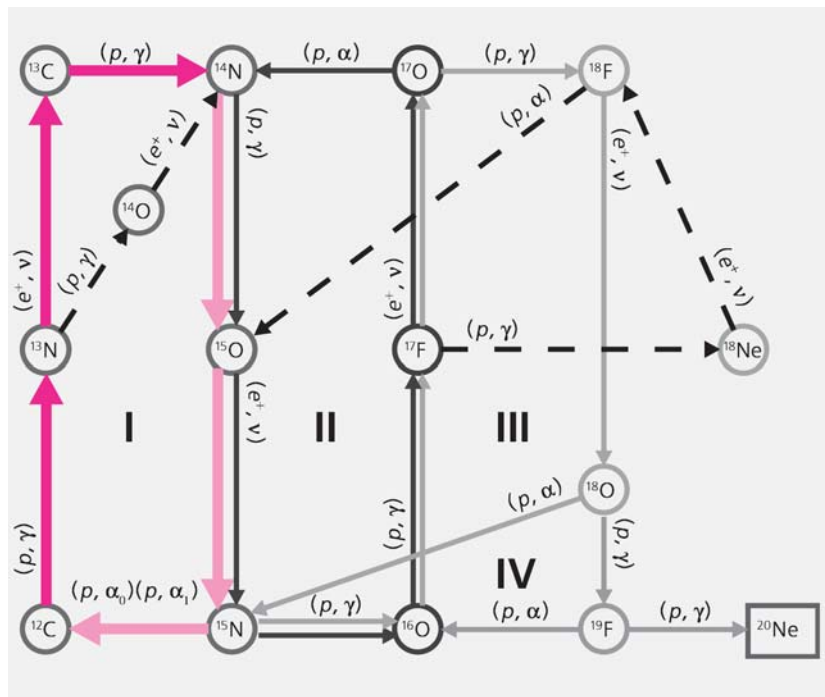


Рис.3. CNO-цикл. Основной вклад в энергетику Солнца дает левая петля: от  $^{12}\text{C}$  до  $^{14}\text{N}$  и далее к  $^{12}\text{C}$ . Прочие реакции дают небольшую поправку при солнечной температуре.

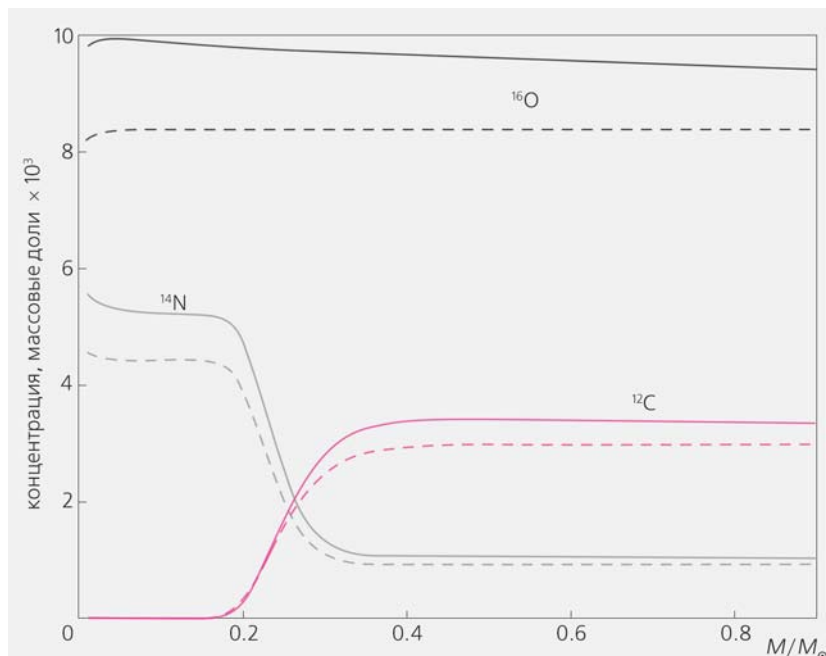
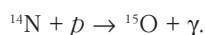


Рис.4. Распределение концентраций  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$  и  $^{16}\text{O}$  по радиусу Солнца. Сплошные линии — данные расчета с учетом диффузии элементов в веществе Солнца, штриховые — без ее учета.

парадокс — считаем нейтрино от CNO-цикла, а получаем (в совокупности с измерениями бериллиевых нейтрино) поток  $pp$ -нейтрино. Чтобы найти с прецизионной точностью угол смешивания, нужно знать две величины (также с очень высокой точностью): поток нейтрино в источнике и поток нейтрино на Земле. Как мы уже видели, первую задачу — определить с высокой точностью поток  $pp$ -нейтрино в источнике — можно решить измерением бериллиевых и CNO-нейтрино. Как решить вторую задачу — измерить точно поток  $pp$ -нейтрино на Земле? В настоящее время разрабатываются детекторы нового поколения, которые смогут это сделать, используя реакцию  $\nu e$ -рассеяния. Дело в том, что сечение для данного процесса рассчитывается очень точно. Причем основные эффекты дают электронные нейтрино, как уже упоминалось выше. Остальные нейтрино, а их примерно столько же (так как вероятность выживания для  $pp$ -нейтрино примерно половина), дадут эффект с весом примерно  $1/4$ . Поэтому в принципе здесь можно получить результат с очень высокой точностью.

Итак, на очереди — необходимость измерить поток бериллиевых нейтрино с прецизионной точностью. Следующей задачей, более сложной, станет измерение потока нейтрино, рождающихся в CNO-цикле. Надо заметить, что пока роль CNO-цикла в энергетике Солнца, с точки зрения эксперимента, остается белым пятном, для него есть только расчеты. А между тем, это вопрос чрезвычайной важности и касается он не только Солнца. Звезды в процессе эволюции в какой-то момент достигают фазы, когда их температура повышается настолько, что CNO-цикл становится главным источником энергии. Таким образом, измерение потоков нейтрино от CNO-цикла станет решаю-

щей проверкой правильности теории звездной эволюции. На рис.3 изображен CNO-цикл. Самой медленной по астрофизическим масштабам, лимитирующей, оказывается реакция



Остальные реакции успевают произойти за время, сравнимое со временем жизни Солнца. Иначе говоря, на начальном этапе эволюции Солнца работает только первый полуцикл: от  $^{12}\text{C}$  до  $^{14}\text{N}$ . Затем, по мере того как в недрах Солнца накапливается изотоп  $^{14}\text{N}$ , включается второй полуцикл: от  $^{14}\text{N}$  до  $^{12}\text{C}$ . На этом цикл замыкается. На рис.4 представлено расчетное содержание изотопов  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$  и  $^{16}\text{O}$  в веществе Солнца. Видно, что, согласно солнечной модели, в центральной области Солнца содержание изотопа  $^{12}\text{C}$  должно быть очень низким (он сгорел в ядерных реакциях), а изотопа  $^{14}\text{N}$  — высоким (он нарабатался). Так ли это

все в реальности — вопрос к эксперименту.

Как измерить потоки нейтрино от CNO-цикла? Это нелегко, так как поток этих нейтрино на порядок ниже потока бериллиевых нейтрино. Из планируемых на будущее детекторов солнечных нейтрино только литиевый детектор имеет высокую чувствительность к нейтрино от CNO-цикла. Как показывает название, рабочее вещество в нем — литий. Нейтрино захватываются ядром  $^7\text{Li}$ , которое превращается в  $^7\text{Be}$ . Изотоп бериллия не стабилен и распадается путем электронного захвата с периодом полураспада 53 дня. В итоге задача сводится к тому, чтобы из многотонной мишени извлечь небольшое количество бериллия (вместе с носителем это несколько десятков миллиграммов). Далее нужно сосчитать количество извлеченных (единичных!) атомов  $^7\text{Be}$ . При распаде этого изотопа вы-

деляется энергия всего 55 эВ, что затрудняет его регистрацию: энергия слишком мала. Однако есть другой вариант. В 10% случаев распада происходит переход на возбужденный уровень ядра  $^7\text{Li}$ , который испускает гамма-квант с энергией 478 кэВ, более подходящей для регистрации. Такое событие можно «увидеть» с помощью низкофонового гамма-спектрометра на основе сверхчистых германиевых детекторов. В этой области техники в последнее время наблюдается большой прогресс благодаря экспериментам по двойному бета-распаду, для которых изготовили гамма-спектрометры с удивительно низким уровнем фона. Помогает также то, что в литиевом эксперименте удовлетворительной была бы статистическая погрешность в 10%. Над всеми этими вопросами работают в настоящее время в Институте ядерных исследований РАН [9, 10]. ■

## Литература

1. SNO collaboration. Ahmed S.N., Anthony A.E., Beier E.W. et al. arXiv:nucl-ex/0309004.
2. Смирнов А.Ю. Резонансные переходы нейтрино в веществе // Природа. 1991. №6. С.15—24.
3. Копылов А.В. Проблема солнечных нейтрино // Природа. 1998. №5. С.31—40; №6. С.27—36.
4. Копылов А.В. Нейтрино продолжают удивлять // Природа. 2002. №10. С.3—5.
5. Комар А.А. Проблема дефицита солнечных нейтрино экспериментально решена // Природа. 2002. №10. С.5—7.
6. Герштейн С.С. Лауреаты Нобелевской премии 2002 года по физике Р.Дэвис, М.Кошиба // Природа. 2003. №1. С.66—69.
7. Fogli G.L., Lisi E., Marrone A., and Palazzo A. arXiv:hep-ph/0309100.
8. Barger V., Marfatia D., and Tregre A. arXiv:hep-ph/0312065.
9. Kopylov A., Petukhov V. arXiv:hep-ph/0301016, hep-ph/0306148, hep-ph/0308004.
10. Kopylov A., Orekhov I., Petukhov V., et al. hep-ph/0310163.

# Мелатонин — без чудес

В.М.Ковальзон

**М**елатонин — одно из эволюционно древнейших биохимических веществ — был открыт американским дерматологом А.Лернером лишь полвека назад. Это вещество присутствует уже у одноклеточных организмов и у растений, а значит, и в обычной растительной пище, но в ничтожных, «гомеопатических» концентрациях, никак не влияющих на организм млекопитающего. Например, чтобы повысить уровень мелатонина в крови хотя бы до 50 пг/мл (его «вечернее» содержание у человека), нужно съесть за один прием килограммов 200 помидоров или бананов или полтонны отварного риса!

В организме позвоночных животных главный источник мелатонина — эпифиз, или шишковидная (пинеальная) железа. Считают, что эпифиз впервые описал александрийский врач Герофил за 300 лет до н.э., а название свое он получил от Галена (II век н.э.), которому форма железы напомнила сосновую шишку. В XVII в. Р.Декарт приписывал эпифизу роль «сидящего души» и связывал его функции со зрением, что весьма интересно в свете современных знаний. Однако на протяжении XVIII—XIX вв. эпифиз рассмат-



**Владимир Матвеевич Ковальзон** — нейрофизиолог, специалист по экспериментальному изучению сна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН, член правления и председатель научного комитета Международного научно-практического общества сомнологов, автор более 100 научных и 30 научно-популярных статей. Неоднократно публиковался в «Природе».

ривали лишь как рудиментарный придаток мозга. Только в самом конце XIX в. немецкий педиатр О.Хюбнер описал мальчика, отличавшегося преждевременным половым созреванием, у которого при посмертном вскрытии обнаружили опухоль эпифиза. Как теперь очевидно, она препятствовала выработке мелатонина. В начале XX в. невролог О.Марбург предположил, что эпифиз — *верхний* придаток мозга, выделяет какое-то вещество, угнетающее функции гипоталамуса (важнейшей структуры в глубине мозга, управляющей *нижним* придатком мозга, гипофизом) и, как следствие — развитие репродуктивной системы. Примерно тогда же уста-

новили, что эпифиз содержит субстанцию, вызывающую депигментацию (побледнение) кожи головастиков. Через 40 лет этот факт сыграл решающую роль в открытии мелатонина. Интересно, что первооткрыватель мелатонина Лернер впервые описал и его седативный (успокоительный) эффект при введении человеку.

## Мелатонин и эпифиз

У зародыша эпифиз образуется из выпячивания крыши межзачаточного мозга, из которого берут свое начало и глаза, и гипоталамус. Исторически все эти образования возникли как еди-

ное целое — некий механизм, способный реагировать на циклические изменения в световом режиме. У холоднокровных позвоночных и у птиц эпифиз выполняет хорошо известную роль «третьего глаза», снабжая организм этих животных информацией о суточной и сезонной освещенности. Однако у млекопитающих верхний мозговой придаток, «погребенный» под разросшимися полушариями и мощным черепом, потерял непосредственные афферентные (центростремительные) и эфферентные (центробежные) связи с мозгом и превратился в железу внутренней секреции. Так случилось у всех млекопитающих, за исключением неполнозубых (муравьедов, ленивцев), панцирных (броненосцев) и китообразных (китов, дельфинов), у которых эпифиз попросту исчез.

Несмотря на то, что геометрически эпифиз располагается в самом центре мозга, управляется он, как обычный периферический орган, при помощи вегетативной нервной системы (рис.1). Зрительная информация от сетчатки через ответвление зрительного нерва попадает в супрахиазмальные ядра (СХЯ), находящиеся в глубине полушарий над зрительным перекрестом. Затем эти сигналы нисходят вниз (через гипоталамус по проводящим путям вдоль ствола головного мозга), в шейный отдел спинного мозга, откуда по симпатическим нервам через отверстия в черепе проникают обратно в головной мозг и, наконец, достигают эпифиза (рис.2). Ночью, в темноте, когда большинство нейронов супрахиазмальных ядер бездействует, эти нервные окончания выделяют норадреналин, активирующий в клетках эпифиза (пинеалоцитах) синтез ферментов, образующих мелатонин. Эпифиз здорового взрослого человека, имеющий массу немногим более 100 мг, ежедневно выделяет в кровь около 30 мкг мелатонина. Яркий свет мгновенно бло-

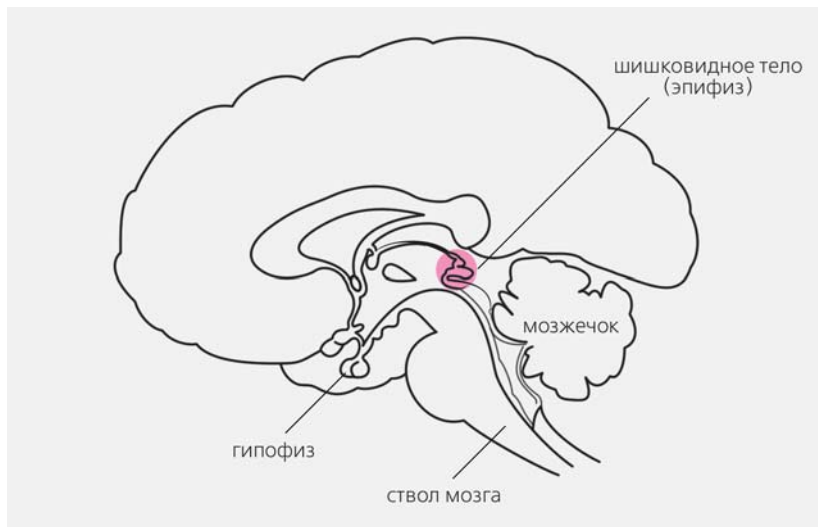


Рис.1. Схема расположения эпифиза (продольный вертикальный срез головного мозга человека).

кирует его синтез, в то время как в постоянной темноте суточный ритм выброса, поддерживаемый периодической активностью СХЯ, сохраняется.

Мелатонин синтезируется из незаменимой (для человека) аминокислоты триптофана, поступающей в организм с пищей. Попав с кровотоком в эпифиз, эта аминокислота превращается в серотонин в два этапа, с участием ферментов триптофангидроксилазы и 5-окситриптофан-декарбоксилазы. Затем, также в две стадии, с помощью ферментов N-ацетилтрансферазы (NAT) и оксииндол-О-метилтрансферазы (HIOMT) из серотонина образуется мелатонин

(рис.3). Синтезируемое вещество не накапливается в эпифизе, а немедленно выбрасывается в кровяное русло и ликвор (спинномозговую жидкость). Чем ближе к эпифизу, тем выше концентрация мелатонина в биологических жидкостях. Например, ночью в ликворе боковых желудочков его в семь, а в ликворе третьего желудочка — в 20 раз больше, чем в плазме крови, взятой из яремной вены овцы. Однако появление эпифизарного гормона в системной крови отнюдь не результат его простой диффузии из ликвора: ночной подъем мелатонина начинается раньше в крови. Вероятно, эпифиз выбрасывает гормон

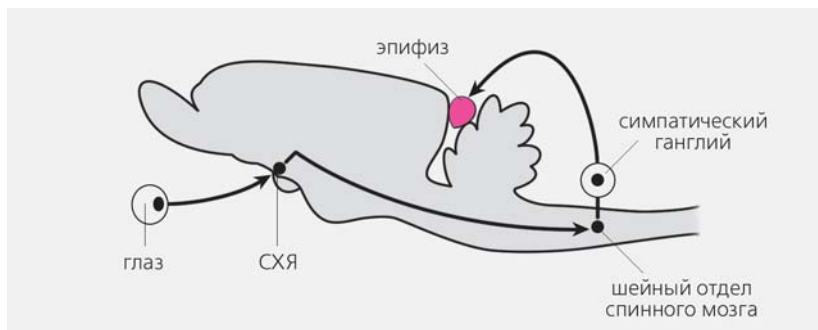


Рис.2. Схема нервной регуляции эпифиза в мозге млекопитающего (продольный вертикальный срез головного мозга крысы).

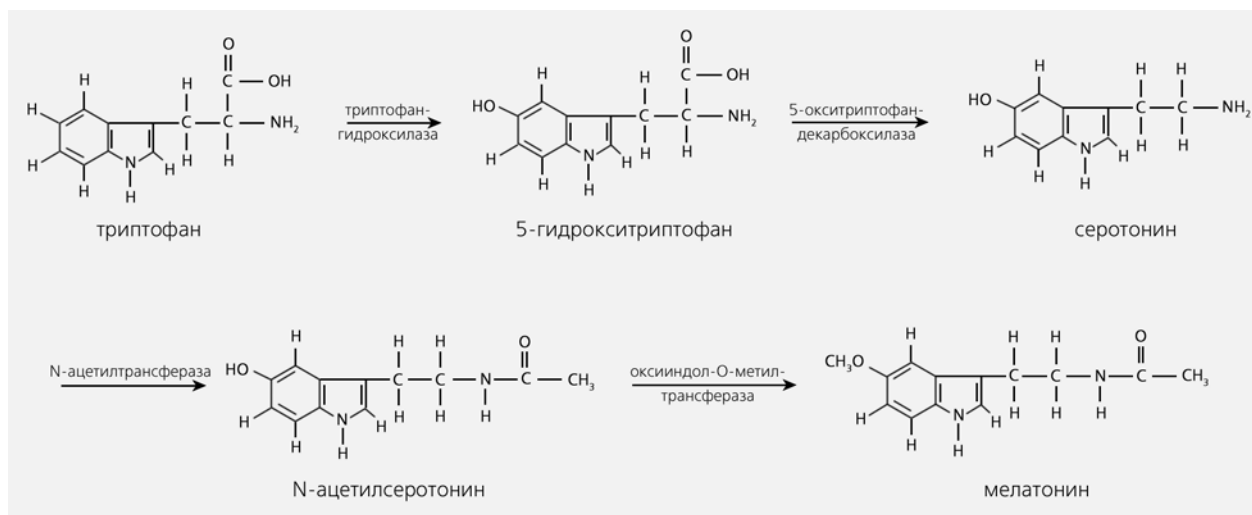


Рис.3. Синтез мелатонина в эпифизе.

в виде двух отдельных «порций» (компартов): одна, в низкой концентрации, поступает в кровь и связывается с периферическими органами и тканями, а другая, в более высоких концентрациях, — в ликвор и связывается с рецепторами мозга.

Суточный ход уровня мелатонина в крови (мелатониновая кривая) имеет некоторые сход-

ные черты у всех людей. Так, его концентрация, ничтожная днем (1–3 пг/мл), начинает возрастать часа за два до привычного для данного субъекта времени отхода ко сну (если нет яркого света). После выключения света в спальные концентрации мелатонина быстро увеличивается (до 100–300 пг/мл). В предутренние часы обычно начинает-

ся спад, который завершается после пробуждения. Для каждого человека мелатониновая кривая на удивление стабильна от ночи к ночи, а у разных людей одного пола и возраста кривые в деталях настолько отличаются, что можно говорить об индивидуальной кривой, характеризующей данную личность (рис.4).

Кроме суточных, существуют и сезонные ритмы колебания уровня мелатонина, причем не только у млекопитающих с сезонным циклом размножения, но и у человека. Посмертные исследования (аутопсия) показали, что у людей, живших в средних широтах Северного полушария и умерших в ноябре—январе, эпифизы достоверно больше по размеру и массе, чем у лиц, соответственно подобранных по возрасту, полу и месту проживания, умерших в мае—июле. Видимо, именно с ритмом эпифизарного мелатонина связаны в конечном счете сезонные изменения общей активности и эмоционального состояния человека (включая так называемые сезонные депрессии).

Большая часть выброшенного в кровь гормона связывается с альбумином — основным белком плазмы. Таким способом

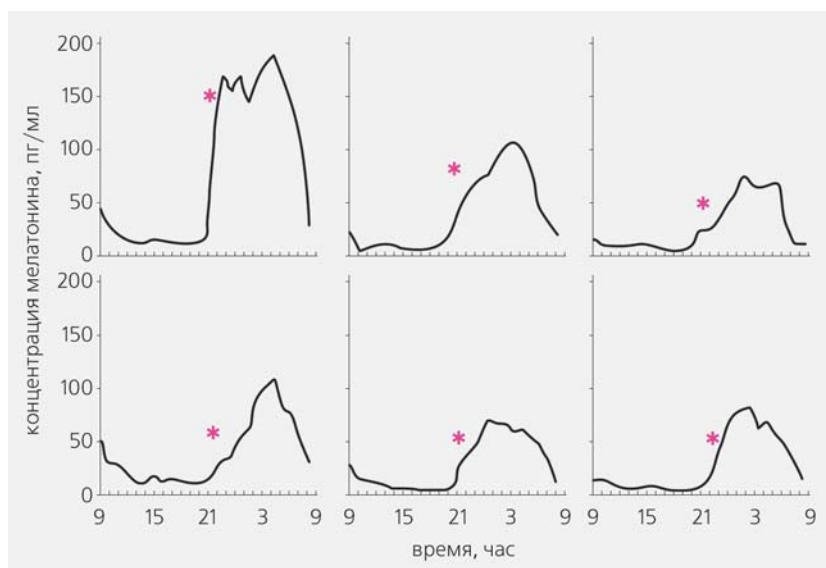


Рис.4. Мелатониновые кривые у шести молодых здоровых испытуемых. По горизонтали — время суток в часах, по вертикали — концентрация мелатонина в плазме крови в пг/мл. Звездочками отмечено время отхода ко сну.

мелатонин защищается от быстрого распада и транспортируется к клеткам-мишеням. По разным данным, период его полужизни в организме человека составляет от 30 до 50 мин. Свою активность мелатонин теряет в печени, где окисляется системой ферментов, связанных с белком Р-450, а затем выводится из организма.

Молекула основного эпифизарного гормона небольших размеров и высоко липофильна, в силу чего для нее не существует в организме никаких преград, включая плацентарный и гемато-энцефалический барьеры. С помощью меченного радиоактивными изотопами йода и трития мелатонина удалось обнаружить области его связывания во многих периферических органах и тканях млекопитающих: сетчатке, половых железах, се-

лезенке, печени, вилочковой железе, желудочно-кишечном тракте, некоторых опухолевых тканях. Однако только в головном мозге выявлены особые многочисленные мембранные белки-рецепторы мелатонина, спаренные с гуанин-нуклеотид-связывающим белком (так называемым G-белком). Здесь есть две главные области связывания: передняя часть гипофиза и супрахиазмальные ядра (СХЯ), причем у разных видов имеются заметные отличия. Так, у собак и кроликов рецепторы мелатонина присутствуют в обеих областях мозга, у копытных (крупного рогатого скота, лошади, ослы) и куньих — только в гипофизе, а у человека — в основном в области СХЯ. Эти различия могут иметь важное значение как для сезонной репродукции, так и для часовых ритмов у днев-

ных, ночных и сумеречных млекопитающих.

Недавно выделили ген, кодирующий основной белок-рецептор мелатонина, находящийся на мембране клеток-мишеней (рис.5). Взаимодействие гормона с рецептором угнетает активность этих клеток. Кроме этого, мелатонин может проникать сквозь мембрану, связываться с белками-рецепторами на поверхности ядра, даже проникать внутрь ядра и реализовывать свое действие на уровне ядерного хроматина, непосредственно влияя на синтез белка генетическим аппаратом клетки!

Зародыши и новорожденные млекопитающие, включая человека, сами не образуют мелатонина, а пользуются материнским, поступающим через плаценту, а потом — с молоком матери. Секретция гормона начи-

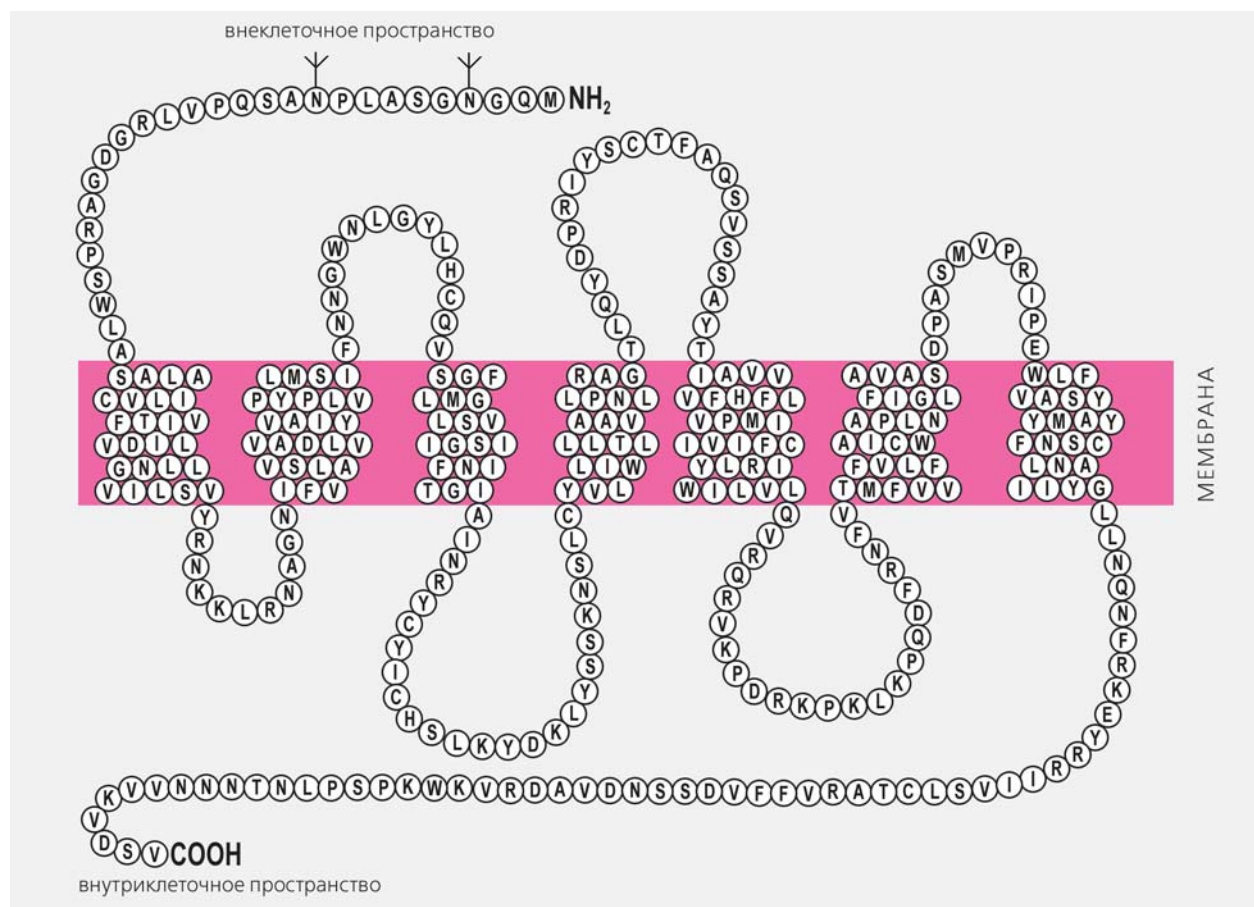


Рис.5. Структура белка-рецептора мелатонина. Каждый кружок представляет отдельный аминокислотный остаток, обозначенный общепринятым в биохимии однобуквенным кодом.



нается лишь на третьем месяце развития ребенка. С возрастом синтез мелатонина в эпифизе резко увеличивается и достигает максимума уже в первые годы жизни (не позднее 5 лет), а затем в течение всей жизни человека постепенно и плавно снижается (резкое падение наблюдается лишь в период полового созревания).

Очевидно, что возрастная динамика мелатонина носит в основном адаптивный характер: ведь по мере ослабления выброса гормонов гипофизом и угасания деятельности периферических эндокринных желез потребность в их периодическом ночном торможении снижается и может вовсе исчезнуть. Недавно аутопсия подтвердила наличие в эпифизе рецепторов половых стероидов. Значит, эпифиз действительно получает обратную информацию о циркулирующих в крови гормонах. Сейчас это явление интенсивно изучается в ряде лабораторий мира.

У млекопитающих (включая человека) выброс эпифизарного мелатонина полностью контролируется супрахиазмальными ядрами. Эти небольшие парные образования и эпифиз млекопитающих — две половины главных биологических часов в нашем организме, находящиеся между собой во взаимоотношениях. Яркий свет стимулирует нейроны СХЯ, но тормозит выработку мелатонина эпифизом. В свою очередь, мелатонин, из-за высокой насыщенности высокочувствительными рецепторами СХЯ и смежных участков преоптической области, способен блокировать активность СХЯ — главного «генератора тактовых импульсов» в организме млекопитающих. При этом эпифизарный гормон взаимодействует с веществами, модулирующими активность супрахиазмальных ядер: нейромедиаторами (глутамат и серотонин) и нейропептидами (нейропептидтирозин и вещество П). Таким способом в системе внут-

рисуточной ритмики млекопитающих и человека поддерживается динамический гомеостаз.

Интересны идеи и разработки отечественного пинеолога (специалиста по эпифизу) А.М.Хелимского [5]. Он впервые указал, что социальный стресс (результат все ускоряющихся темпов и ритмов развития человеческого общества) стал главной движущей силой эволюции человека, которая реализуется через эпифиз и его основной гормон — мелатонин. По мнению Хелимского, хронический стресс матери во время беременности, столь характерный для больших городов, повышает уровень кортикостероидов (гормонов стресса), которые могут проникать через плаценту и подавлять у плода формирование эпифиза. За первую половину минувшего века средний вес эпифиза зрелого плода снизился, по его данным, почти в два раза! Такова, видимо, *эпигенетическая* (НЕ связанная с наследственной) реакция человеческой популяции на условия жизни в постиндустриальном обществе, с характерным действием стрессирующих факторов не только днем, но и ночью (залитые ярким светом ночные города — так называемый эффект Эдисона, ночной шум от автомобилей и самолетов, ночные будоражающие передачи по телевидению и пр.), и полным разрушением естественного для человека чередования периодов активности—покоя и сна—бодрствования.

Снижение угнетающего действия эпифизарного мелатонина на функции гипофиза усиливает выброс гормонов роста и стресса, половых гормонов, что проявляется в подростковой акселерации. В ней, быть может, и не было бы ничего плохого, если бы зачастую она не носила дисгармоничного характера. У подростков это выражается в диспропорциональном росте, раннем половом созревании, ожирении, гипертиреозах (патологическом разрастании

щитовидной железы), усилении агрессивных реакций при фрустрации и т.п. Такова часть платы, которую вносит человечество за пренебрежение фундаментальными физиологическими факторами своего существования.

## Мелатонин и сон

В настоящее время участие, по крайней мере косвенное, эпифизарного мелатонина в сезонной и внутрисуточной ритмике, сне—бодрствовании, репродуктивном поведении, терморегуляции, иммунных реакциях, внутриклеточных антиокислительных процессах, старении организма, опухолевом росте и психиатрических заболеваниях — не оставляет сомнений. Это доказано многочисленными исследованиями.

Однако не столь всестороннее до недавнего времени изучение влияния мелатонина на сон млекопитающих давало весьма противоречивые результаты. Известно, что звери по характеру своей активности подразделяются на дневных, ночных и сумеречных (не считая тех, чья активность не связана со сменой освещенности, например, крота-слепыша). У всех животных мелатонин выбрасывается эпифизом в темноте и блокируется на свету, а активность супрахиазмальных ядер подавляется мелатонином. Спрашивается, как может вещество, выделяющееся в одно и то же время, управлять столь непохожими типами поведения у разных видов млекопитающих (рис.6)? Пока окончательного ответа на этот вопрос нет, но очевидно, что мелатонин влияет на поведение косвенно, через какие-то еще не известные механизмы. В этой связи весьма важными представляются следующие недавно полученные данные:

— межвидовые различия в распределении областей связывания мелатонина в головном

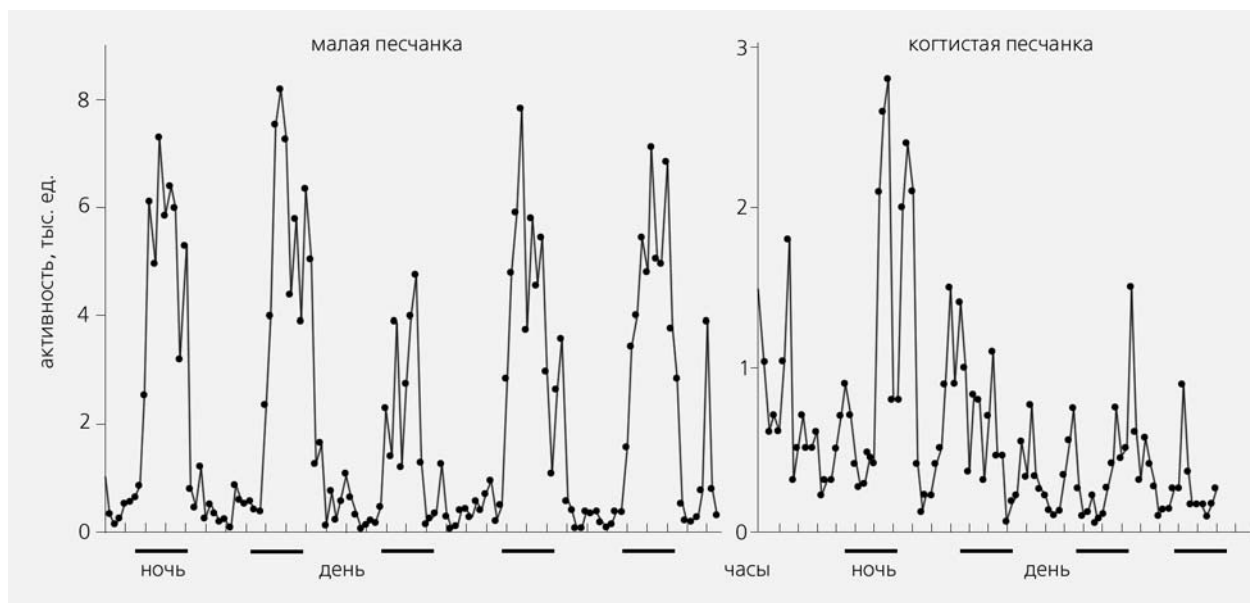


Рис.6. Суточные ритмы активности—покоя у двух родственных видов мелких грызунов при искусственном световом режиме: 12 часов света — 12 часов темноты. Слева — малая песчанка (ночная активность); справа — когтистая песчанка (сумеречная активность). По горизонтали — время (расстояние между двумя соседними штрихами соответствует 5 ч), по вертикали — двигательная активность в условных единицах. Горизонтальные штрихи под графиками — периоды выделения мелатонина (ночь).

мозге млекопитающих, о чём было сказано выше;

– различия в распределении *подтипов* рецепторов мелатонина *внутри* областей связывания;

– особая роль нейронов в области переднего гипоталамуса, находящейся *в непосредственной близости* к СХЯ и образующей с ними единый функциональный комплекс. В этой области обнаружены клетки, которые связаны с *реальным* ритмом активности—покоя у данного животного. Видимо, они *преобразуют* периодическую активность нейронов СХЯ, адаптируя ее к наиболее адекватному поведенческому ритму.

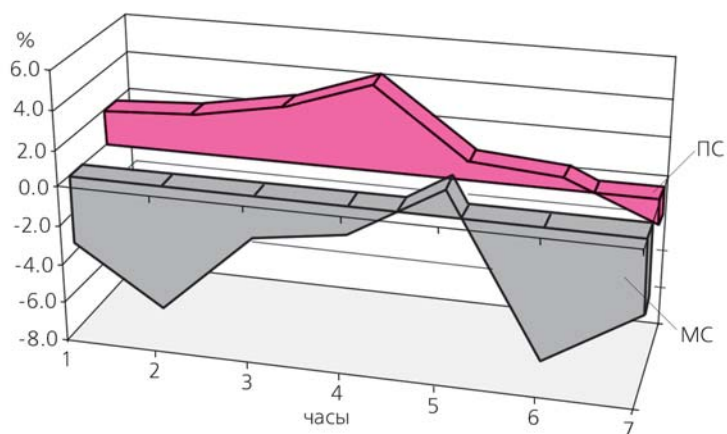
Мы изучали действие небольших (физиологических) доз мелатонина на кроликах, животных с преимущественно *сумеречной* активностью. Исходя из литературных данных, за рабочую гипотезу приняли, что введение мелатонина в противофазе с суточным ритмом его продукции (т.е. в светлое время суток) должно вызывать обра-

щение суточного хода кривой активности—покоя. Иными словами, ожидалось, что в нашей модели мелатонин лишь немного увеличит время бодрствования и уменьшит медленную и парадоксальную фазу сна.

Однако на самом деле все оказалось гораздо сложнее: в некоторых сериях опытов мелатонин, действительно, подавлял сон, но в других — не влиял на него или даже увеличивал долю парадоксального сна (рис.7). По некоторым данным, в ряде случаев он также увеличивал парадоксальный сон у крыс, животных с выраженной *ночной* активностью. Аналогичное действие обнаружили и у некоторых здоровых испытуемых, когда после приема мелатонина скорее наступал быстрый (парадоксальный) сон и увеличивалась его доля в первых двух ночных циклах. Некоторые пациенты, которым вводили мелатонин по показаниям, отмечали появление необычайно ярких и эмоциональных сновидений.

Причина разнообразного влияния мелатонина на сон не вполне ясна. Можно предположить, что его эффекты возникают вследствие изменения гормонального баланса и отражают взаимодействие с некоторыми важнейшими регуляторными пептидами, такими как соматостатин, соматостатин, вазоинтестинальный полипептид и кортикотропиноподобный пептид из промежуточной доли гипофиза (CLIP).

В то же время у *диурнальных* (дневных) млекопитающих, к которым относится человек, выброс мелатонина действительно совпадает с привычными часами сна. Это делает весьма привлекательной гипотезу о наличии и причинно-следственной связи между этими явлениями. У человека, однако, подъем уровня мелатонина не служит обязательным сигналом к началу сна. В различных лабораториях мира, в том числе и в исследованиях сотрудников Сонологического центра Мос-



**Рис.7.** Эффекты малых доз мелатонина на сон кроликов: 50 мкг мелатонина, растворенного в 5 мл растительного масла, вводили через зонд в желудок кроликам через 3 ч после включения света в камере; в контроле тем же кроликам вводили растворитель. На основании 7-часовой непрерывной компьютерной записи полиграммы (совокупности физиологических показателей) определяли состояние животного в цикле сон—бодрствование. По горизонтали — время от момента введения в часах. По вертикали — различие между опытом и контролем в процентах (100% = 60 мин). По наклонной оси — прирост доли медленного сна (МС, отрицательный) и парадоксального сна (ПС, положительный — показано цветом).

ковской медицинской академии им.И.М.Сеченова, выполненных под руководством недавно ушедшего из жизни академика РАМН А.М.Вейна, прием мелатонина (от 0.3 до 3 мг) у большинства испытуемых вызывал лишь мягкий седативный эффект: способствовал некоторому общему расслаблению, снижал реактивность на обычные окружающие стимулы, что приводило к спокойному бодрствованию и плавному засыпанию. В отличие от сильных снотворных (феназепам, элениума, ивадала, имована и пр.), воздействующих на белки-рецепторы  $\gamma$ -аминомасляной кислоты в мозге, мелатонин не вызывает ощущения невыносимой усталости и непреодолимой тяги ко сну. При необходимости человек легко преодолевает снотворные свойства мелатонина. Объективные и субъективные характеристики классических снотворных и мелатонина резко отличаются друг от друга.

Исходя из корреляции между субъективно ощущаемым и объективно подтвержденным ежевечерним нарастанием сонливости, с одной стороны, и увеличением концентрации мелатонина в крови, с другой, можно предположить, что он не прямо воздействует на сомногенные структуры головного мозга, а, скорее, создает некоторую «предрасположенность ко сну», тормозит механизмы бодрствования. Благодаря высокой насыщенности СХЯ и смежных участков преоптической области высокочувствительными рецепторами, мелатонин, наряду с другими физическими (ярким светом) и вышеперечисленными биохимическими факторами, оказывает мощные модулирующие воздействия на активность главного осциллятора в организме млекопитающих, в том числе и человека. Так, при утреннем приеме он вызывает задержку фазы суточного ритма человека, а при вечернем — на-

оборот, сдвиг фазы вперед, причем не более чем на 30–60 мин/сут. Значит, ежедневно принимая мелатонин, можно сместить суточный цикл активности—покоя на несколько часов в ту или другую сторону. Такая потребность обычно возникает при трансмеридиональных авиаперелетах или сменной работе, когда сон нарушается и количественно, и качественно.

В отношении трансмеридиональных перелетов пинеологи дают следующие рекомендации:

- на расстоянии менее трех часовых поясов применение мелатонина бесполезно;
- при пересечении 3–6 поясов в восточном направлении принимать 0.2 мг мелатонина при отходе ко сну по местному времени для сдвига фазы суточного ритма «вперед»;
- при таком же расстоянии в западном направлении принимать 0.1 мг мелатонина сразу после полуночи по местному времени, если человек в это время не спит, или же при спонтанном пробуждении в ранние утренние часы, характерном при таких перелетах, для сдвига суточной фазы «назад»;
- при пересечении 7–12 поясов в любом направлении мелатонин противопоказан, поскольку может усилить дизритмию — так называемый внутренний десинхроноз — и ухудшить субъективное состояние человека.

Использование мелатонина для коррекции биоритмов при сменной работе зависит от ее характера, освещенности и особенностей данного субъекта. Вопросы о необходимости приема гормона, его дозы и времени решаются в каждом случае индивидуально с обязательным учетом формы кривой мелатонина (до и после применения). Разработанные в настоящее время весьма чувствительные (от 0.5 пг/мл) методы определения этого эпифизарного гормона не только в плазме крови, но и в моче и слюне, делают его использование вполне возможным.

Несколько лет назад появились многочисленные публикации о «безвредности» и даже необходимости постоянного возмещения возрастной «нехватки» мелатонина. Это якобы должно улучшить общее состояние здоровья пожилых людей и продлить жизнь [6]. Такое совершенно необоснованное с позиций современных знаний представление привело к беспрецедентному в истории фармацевтики явлению: в США гормон человека — синтетический мелатонин — был рекомендован в качестве пищевой добавки. Бесконтрольное по сути использование препарата, повышающее его концентрацию в десятки, сотни и даже тысячи раз по сравнению с естественным ночным уровнем, может не только нарушить суточный ритм и цикл сон—бодрствование, но и вызвать общую эндокринную недостаточность из-за неадекватного и чрезмерного торможения гормонов гипофиза и периферических эндокринных желез тогда,

когда в подобном торможении уже нет нужды. Говоря другими словами, чрезмерная еженощная концентрация мелатонина может ухудшить здоровье и укоротить жизнь — т.е. привести к результатам, прямо противоположным тем, которые декларируются адептами «мелатонинового чуда»!

Мелатонин абсолютно не токсичен, что способствовало его применению в очень больших, так называемых фармакологических дозах (от миллиграммов до граммов), далеких от физиологических (они составляют, как уже говорилось, десятые доли миллиграмма). Некоторые фирмы, поставляющие синтетический мелатонин на фармацевтический рынок, в том числе на российский, перешли на расфасовку мелатонина исключительно в дозах 3 и 5 мг активного вещества на таблетку или капсулу. Однако только прием *физиологических* доз препарата (0.1—0.3 мг), обеспечивающих подъем мелатонина в плаз-

ме крови до 50—120 пг/мл (средний ночной уровень у взрослых), вызывает мягкий снотворный эффект. Во многих случаях у людей, страдающих бессонницей, малые дозы мелатонина улучшают ночной сон, не изменяя его структуры. Это говорит о том, что больничным и аптечным учреждениям необходимо отказаться от закупок коммерческого мелатонина и использовать препарат в расфасовке по 0.1—0.3 мг.

Итак, несмотря на огромное количество работ, посвященных этому вопросу, не будет ошибкой сказать, что эпифиз остается наименее изученной из всех эндокринных желез, а фундаментальная роль мелатонина только начинает осознаваться [1—5]. Это вещество, с помощью которого жизнь на Земле, возникшая благодаря Солнцу, защищалась от его губительного воздействия, оказалась важнейшим «тормозным» элементом в гормональной системе млекопитающих. ■

## Литература

1. Анисимов В.Н., Кветной И.М., Комаров Ф.И., Малиновская Н.К., Рапопорт С.И. Мелатонин в физиологии и патологии желудочно-кишечного тракта. М., 2000.
2. Мелатонин в норме и патологии / Под ред. акад. РАМН Ф.И.Комарова. М., 2003 (в печати).
3. Слепушкин В.Д., Пашинский В.Г. Эпифиз и адаптация организма. Томск, 1982.
4. Чазов Е.И., Исаченков В.А. Эпифиз: место и роль в системе нейроэндокринной регуляции. М., 1974.
5. Хелимский А.М. Эпифиз. М., 1969.
6. Пьерпаоли В., Регельсон У. Чудо мелатонина / Пер. с англ. М., 1997.

# Лекторий Квантовый хаос в химии

В.В.Еремин

Многие события в нашей жизни определяются движением, которое в широком смысле понимают как изменение каких-либо свойств систем во времени. Наибольший интерес для исследователей всегда представляют именно меняющиеся системы. Их поведение можно описать с помощью дифференциальных или разностных уравнений. Многие из тех, что используются в химии, например уравнения химической кинетики или уравнения классической механики, можно представить в общем виде [1]:

$$\frac{dX}{dt} = F(X, \lambda, t), \quad (1)$$

где  $t$  — время;  $X(t)$  — переменные, характеризующие систему (скажем, концентрации веществ или координаты и импульсы ядер в химической реакции);  $\lambda$  — набор управляющих параметров, которые зависят от условий эксперимента, таких как температура реакции или общая энергия ядер.

Если следить за поведением системы не постоянно, а через некоторые промежутки времени, то можно применить не дифференциальное уравнение (1), а эквивалентное разностное:

$$X_{n+1} = F(X_n, \lambda), \quad (2)$$

где функция  $X(t)$  берется в определенные моменты времени:  $X_n = X(t_n)$ .



**Вадим Владимирович Еремин**, кандидат физико-математических наук, доцент химического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Научные интересы сосредоточены в области квантовой динамики молекул.

Все колоссальное многообразие динамических явлений в системах, описываемых уравнениями (1) и (2), определяется видом функции  $F$ . Лишь сравнительно недавно, около 40 лет назад, стало понятно, что даже при достаточно простых функциях  $F$  уравнениями движения (1) или (2) можно выразить невероятно сложное поведение динамических систем. Самое интересное и нетривиальное происходит там, где функция  $F$  нелинейна, а переменных больше одной. Такие системы способны к качественно разным типам поведения: от строго регулярного, периодического и предсказуемого до полностью хаотического. Переход же от одного типа поведения к другому обеспечивается изменением начальных условий или управляющих параметров.

Мы обсудим источники возникновения хаоса, изменение его свойств при переходе от классических систем к квантовым, рассмотрим некоторые особенности хаоса в химии и проявления в квантовых молекулярных системах.

## Что такое классический хаос?

Интуитивно понятие хаоса определить довольно просто. С точки зрения здравого смысла — это полное отсутствие порядка (в мыслях или на рабочем столе) или абсолютно непредсказуемое поведение системы и невозможность сделать какие-либо прогнозы даже на ближайшее будущее. Конкретнее, *хаос — это нерегулярное, аperiodическое изменение состояния динамической системы, обладающее свойствами случайного процесса* [2].

В этом определении под словом «динамическая» понимается реальная система (физическая, химическая или биологическая), параметры которой изменяются во времени и, самое главное, ее эволюция *однозначно* определяется начальными условиями. Последнее свойство называют *детерминизмом*. Поведение детерминированной системы подчиняется четким законам, которые выражены в виде дифференциальных или разностных уравнений, причем каждое предшествующее состояние системы строго определяет все последующие. Чтобы в системе появился хаос, необходима (но недостаточна!) нелинейность функции  $F$  в дифференциальном (1) или разностном (2) уравнениях, т.е.  $F(X) \neq a + bX$ .

Слово «апериодическое» означает, что поведение системы не повторяется и поэтому, несмотря на ее детерминированность, нельзя сделать надежных предсказаний о ее будущем.

Наконец, «случайный процесс» — это функция, которая в любой момент времени может принимать значения, подчиняющиеся вероятностным законам.

С учетом этих пояснений, приведенное уже определение хаоса можно сформулировать так: *хаос — это нерегулярное поведение детерминированной системы, которое описывается нелинейными уравнениями движения.*

Такой хаос называют детерминированным [3]. В отличие от бытового, он характеризуется разными количественными показателями и может иметь четкую, хотя и глубоко скрытую внутреннюю структуру. Более того, существует много разных видов хаоса: слабый, сильный, с перемешиванием и др. [4]. Количественные и качественные его характеристики, а также механизмы зарождения и развития зависят от свойств самой системы. Различают два основных типа динамических систем: *консервативные*, в которых энергия остается неизменной во времени, и *диссипативные*, в которых она уменьшается за счет трения или рассеяния. В отсутствие внешних полей молекулы и атомы представляют собой консервативные системы. Примеры диссипативных систем — жидкость или газ, движение которых обусловлено градиентом температуры.

Наиболее наглядно хаос можно определить с помощью классических траекторий в фазовом пространстве, т.е. в совместном пространстве координат и импульсов частиц [1]. Если частица движется под действием некоторых сил в  $N$  измерениях, то ее координаты и проекции импульса есть функции времени:  $q_i = q_i(t)$ ,  $p_i = p_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Состояние системы в заданный момент описывается точкой в фазовом пространстве, а ее движение — траекторией,  $x(t)$  ( $x$  — совокупность координат и импульсов). Начальные условия для движения могут быть различны: каждой исходной точке соответствует выходящая из нее траектория. Если движение хаотическое, любые две траекто-

рии, даже в какой-то момент находящиеся очень близко, начнут с большой скоростью удаляться друг от друга по закону:

$$|x(t) - x'(t)|_{\text{хаотич}} \sim \exp(Lt),$$

где показатель экспоненты  $L$  служит количественной характеристикой хаоса и называется показателем Ляпунова. При регулярном (нехаотическом) движении фазовые траектории также разбегаются, но медленнее, по степенному закону:

$$|x(t) - x'(t)|_{\text{рег}} \sim t^\alpha.$$

Наглядный пример разбегания траекторий дает движение бильярдных шаров на столе особой формы, так называемом стадионе (рис.1). Он представляет собой две полуокружности одинакового радиуса, соединенные параллельными отрезками. Математики доказали, что при любой энергии движение в такой системе сильно хаотическое. Уже после двух-трех отражений от полукруглых стенок пучок близких траекторий начинает рассеиваться. Математики придумали еще много других бильярдных «гусеницу», «веер», «Африку», «лимон») и исследовали возможность возникновения в них хаоса [5].

Физикам из Англии и Японии удалось экспериментально создать бильярд-«стадион» в полупроводнике, состоящем из тонкого слоя (22 нм) арсенида галлия GaAs, зажато между слоями AlGaAs. Роль бильярдных шаров в таком устройстве играют электроны. Они свободно двигаются между стенками потенциальной ямы, и при наложении сильного магнитного поля их движение становится хаотическим [6].

Эффект экспоненциального разбегания хаотических траекторий называют чувствительностью

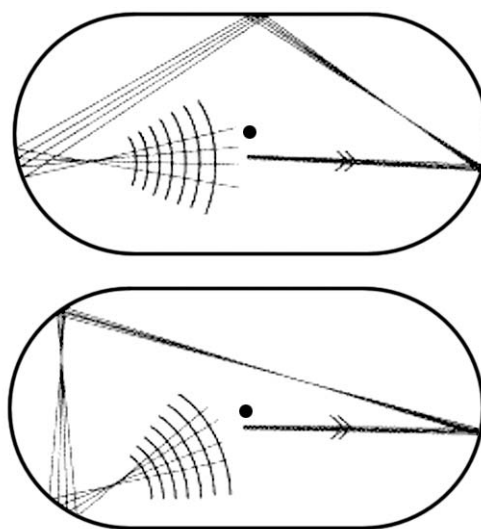


Рис. 1. Разбегание соседних шаров на бильярде в форме стадиона. Движение становится хаотическим в результате отражения шаров от круглых стенок [16].

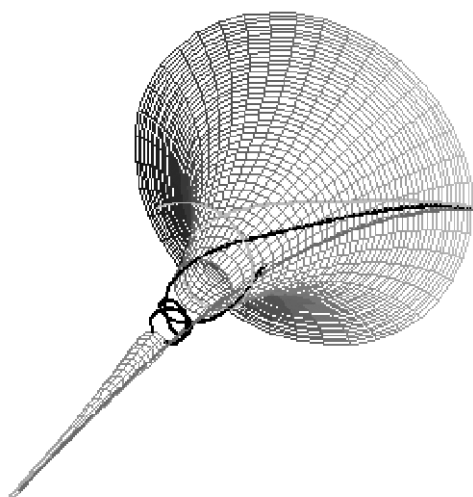


Рис.2. Разбегание и переплетение траекторий при хаотическом движении в ограниченном фазовом пространстве.

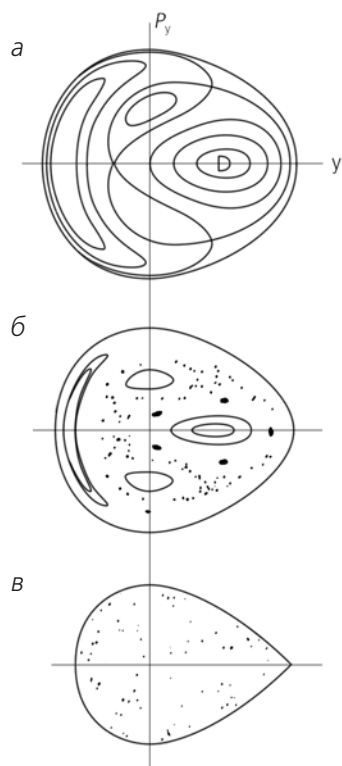


Рис.3. Сечения Пуанкаре для двумерного движения в потенциальном поле  $U(x,y) = 1/2x^2 + 1/2y^2 + x^2y - y^3/3$ . При низкой энергии  $E = 1/12$  движение регулярно (а), если ее повысить до  $E = 1/8$ , появляются области хаотического движения (б); дальнейшее повышение до  $E = 1/6$  приведет к полному хаосу [17]. Все точки, расположенные не на замкнутых кривых, принадлежат одной-единственной траектории.

к начальным условиям, или *эффектом бабочки*. Это название было предложено метеорологом Э.Н.Лоренцем, который открыл детерминированный хаос [7]. Уравнения, описывающие динамику воздушных потоков в земной атмосфере, оказались чрезвычайно неустойчивы к изменению начальных условий. Так, взмах крыла бабочки в одной части Земли может, в принципе, через определенное время вызвать ураган на другом конце Земли. Это означает, в частности, что надежно предсказать погоду на сколько-нибудь длительный срок невозможно.

Расстояние между экспоненциально разбегающимися траекториями не может увеличиваться бесконечно, так как энергия любой системы конечна, и поэтому фазовое пространство ограничено. Разбегающиеся траектории отражаются от его границ и быстро переплетаются (рис.2), создавая иллюзию абсолютно случайного движения, которое на самом деле строго детерминировано.

Отличить хаос от периодического движения можно даже по одной-единственной траектории. Для этого строят так называемые *сечения Пуанкаре*: выбирают какую-либо плоскость в фазовом пространстве и рассматривают точки, в которых ее пересекает траектория. Когда движение системы регулярно, сечение Пуанкаре представляет собой несколько замкнутых траекторий или всего несколько точек (рис.3,а). Но если увеличить энергию, в системе зарождается хаос: часть периодических траекторий превращаются в хаотические, для которых характерно нерегулярное заполнение сечения, и тогда области регулярного и хаотического движения сосуществуют (рис.3,б). Дальнейшее увеличение энергии повлечет за собой превращение всех траекторий в хаотические. При хаотическом движении одна-единственная траектория со временем равномерно заполнит всю плоскость сечения, пересекая ее в разных местах случайным образом (рис.3,в).

Хаотическое поведение выражается не только непрерывными, но и дискретными, разностными уравнениями (2). Ярким примером служит отображение Арнольда [8], в котором динамика точки с начальными координатами  $(x_0, y_0)$  описывается следующими разностными уравнениями:

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= x_n + y_n \pmod{1} \\y_{n+1} &= x_n + 2y_n \pmod{1},\end{aligned}$$

где  $\pmod{1}$  означает дробную часть суммы. Это двумерное отображение соответствует тому, что при каждой итерации единичный квадрат растягивают определенным образом, разрезают и обратно собирают в единичный квадрат. В результате уже за одну итерацию фотография кота, например, помещенная в квадрат, искажается до неузнаваемости (рис.4). Такого рода сильно хаотические дискретные отображения используются при анализе движения шарика в некоторых типах бильярдных [8].

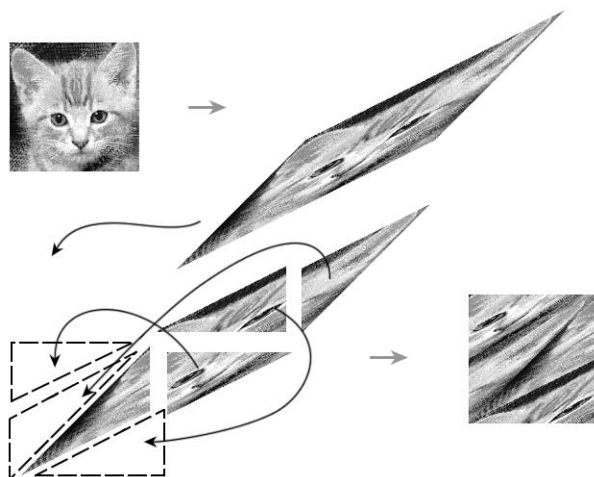


Рис. 4. Преобразование фотографии кота под действием отображения Арнольда.

Исследования последних трех десятилетий показали, что хаотические системы в самых разных областях природы и общества не случайны: их не просто много, а подавляющее большинство. Скорее, исключение составляют системы, движение в которых регулярно. Естественно возникает вопрос: если хаоса вокруг так много, почему его обнаружили так недавно? Ответ не сложен: раньше не было компьютеров. Дело в том, что открытие детерминированного хаоса почти совпало с созданием компьютеров, которые численно, с высокой точностью, могут решать классические уравнения движения. Без компьютера, в аналитическом виде решаются только некоторые дифференциальные или разностные уравнения специального вида. Когда точного решения нет, необходим численный анализ. Только подробные компьютерные расчеты могли привести к открытию упомянутого «эффекта бабочки» и многих других проявлений хаоса в динамических системах.

## Что такое квантовый хаос?

В квантовой механике в силу принципа неопределенности понятие траектории сильно видоизменяется, хотя отнюдь не пропадает. Принцип неопределенности для координаты и импульса

$$\Delta p \cdot \Delta q \geq \hbar$$

( $\hbar = 1.05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с — постоянная Планка) требует, чтобы все точки внутри области фазового пространства объемом не более  $\hbar$  соответствовали одному и тому же квантовому состоянию. Исходя из этого, две траектории не могут находиться слишком близко друг к другу, а затем разойтись. Тонкие

свойства классического хаоса квантовая механика сильно «огрубляет», поэтому он должен обнаруживать себя в ней иначе и иметь другие характеристики, чем в классической механике [9]. Так, например, «эффекта бабочки» в квантовой динамике нет. Вообще, *в квантовых системах хаоса меньше, чем в классических, и он имеет другой характер.* Поэтому для описания квантовых свойств систем, классическое поведение которых хаотично, вместо термина «квантовый хаос» иногда используют более мягкое название «квантовая хаология» [10].

При изучении квантовых систем используют два основных подхода: стационарный и нестационарный. В первом рассматриваются не зависящие от времени свойства: стационарные волновые функции и уровни энергии; во втором изучаются динамические характеристики системы: зависящие от времени волновые функции (*волновые пакеты*) и связанные с ними величины, например средние значения координат, импульсов или энергии. Каждое из этих стационарных или динамических свойств имеет свои особенности в хаотических системах. Мы рассмотрим только стационарные проявления квантового хаоса.

В первую очередь интересно посмотреть, как выглядят волновые функции квантовых систем, для которых классические аналоги полностью хаотичны. При исследовании бильярда типа «стадион» был обнаружен удивительный факт: волновые функции квантовой частицы, свободно движущейся в «стадионе», хаотичны при высокой энергии, но регулярны при низкой [11]. Напомним, что движение классической частицы в «стадионе» полностью хаотично при любой, даже самой низкой энергии. Следовательно, *однозначного соответствия между классическим и квантовым хаосом нет.* Это лишний раз подтверждает, что в квантовом мире хаоса меньше, чем в классическом.

Тем не менее квантовый хаос проявляется в волновых функциях, как показал американский физик Э.Хеллер в 1984 г. [12]. Он обнаружил, что во многих случаях волновые функции высоковозбужденных состояний «стадиона» имеют повышенные значения (т.е. сгущаются) вблизи классической траектории, по которой двигалась бы классическая частица при этой же энергии. Такие области сгущения волновой функции Хеллер назвал «шрамами» (англ. термин — scars). Оказалось, что они характерны не только для «стадиона», но и для других бильярдов, например «лимона» (рис.5). В нем, в отличие от «стадиона», и в классическом случае может проявляться как хаотическое, так и регулярное поведение в зависимости от энергии частицы.

Другая важная характеристика квантовых систем — уровни энергии. В противоположность волновым функциям, здесь существуют строгие



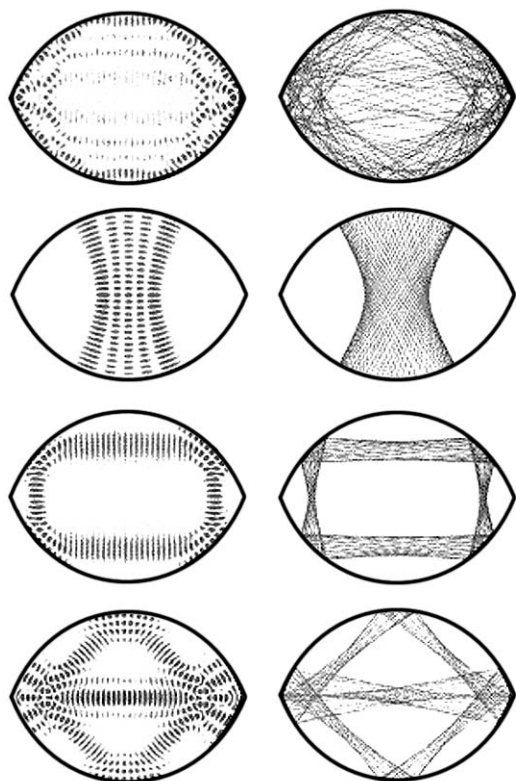


Рис.5. Волновые функции (слева) и классические траектории (справа) частицы, движущейся в бильярде «лимон». Первый ряд соответствует хаотическому движению, три других ряда — регулярному [16].

критерии, которые отличают регулярное поведение от хаотического. В регулярной системе уровни энергии образуют четкие последовательности, которые можно описать с помощью определенных квантовых чисел. В полностью хаотической системе квантовых чисел нет вообще: уровни энергии расположены случайным образом, и их можно только перенумеровать по порядку.

Еще одно отличие имеет статистический характер. Если рассмотреть все возможные расстояния  $\Delta E$  между соседними уровнями энергии, то получится некоторая функция распределения  $f(\Delta E)$ . Для квантовой системы с регулярным поведением эта функция имеет вид:

$$f(\Delta E) \sim \exp(-\text{const} \cdot \Delta E).$$

Она максимальна при  $\Delta E \rightarrow 0$ . Это означает, что уровни энергии как бы притягиваются друг к другу. Для систем с хаотическим поведением функция распределения  $f(\Delta E)$  сложнее:

$$f(\Delta E) \sim (\Delta E)^n \exp[-\text{const} \cdot (\Delta E)^2],$$

где целое число  $n$  зависит от типа системы. Эта функция имеет максимум при  $\Delta E \neq 0$  и стремится

к 0 при  $\Delta E \rightarrow 0$ . В такой системе уровни энергии отталкиваются друг от друга.

Кроме энергетических уровней и волновых функций, известны и другие проявления квантового хаоса, связанные, в частности, с вероятностями переходов между квантовыми состояниями [13].

## Квантовый хаос в химии

Хаос в классическом смысле довольно распространен в химии. Так, даже один из простейших атомов — атом гелия — представляет собой полностью хаотическую систему: классическое движение одного ядра и двух электронов под действием сил электростатического притяжения и отталкивания крайне нерегулярно. Хаос можно наблюдать и в атоме водорода, но для этого его надо поместить в сильное магнитное поле и тогда движение электрона станет хаотическим.

Самый известный случай хаоса в химии — колебательная реакция Белоусова—Жаботинского. Эта очень сложная реакция включает несколько десятков элементарных стадий. Зависимость концентраций промежуточных веществ от времени описывается сильно нелинейными кинетическими уравнениями, которые при определенных начальных условиях имеют хаотические решения. Реакция Белоусова—Жаботинского — это пример классического хаоса с экспоненциальным разбеганием траекторий, под которыми в данном случае понимается зависимость концентраций от времени.

Другие, менее известные проявления хаоса связаны с особенностями строения молекул и движения ядер атомов в ходе химических реакций.

Такие методы, как колебательная спектроскопия или электронография, которыми обычно исследуют строение молекул, позволяют изучать их свойства при не очень высоких энергиях возбуждения. Тогда ядра двигаются в небольшой области вблизи положения равновесия вполне регулярно и периодически, а структура волновых функций и спектров простая и четкая.

Известно, однако, что многие химические реакции могут протекать только при сильном возбуждении молекул исходных веществ. В связи с этим в последние десятилетия в химической физике интенсивно развиваются методы изучения молекул, находящихся в высоковозбужденных электронных и колебательных состояниях. А это как раз та область энергий, в которой обычно возникает хаос.

Рассмотрим движение атомов в молекуле LiNC [14]. Ее относят к так называемым нежестким молекулам (*floppy molecules*) из-за колебания большой амплитуды, которое может приводить к изменению молекулярной структуры. Эта молекула содержит жесткий фрагмент  $C \equiv N$  с прочной тройной связью и легкий подвижный атом лития,

способный за счет угловых колебаний относительно  $C\equiv N$



перескакивать от азота к углероду:



Изомерные молекулы LiNC и LiCN разделены сравнительно небольшим энергетическим барьером ~ 10 ккал/моль.

Движение атома лития относительно жесткого фрагмента  $C\equiv N$  можно описать, используя всего две координаты:  $\theta$  — угол LiNC ( $\theta = 0^\circ$  соответствует LiCN, а  $\theta = 180^\circ$  — LiNC) и  $r$  — расстояние между атомом лития и центром масс фрагмента  $C\equiv N$ . Решение как классических, так и квантовых уравнений движения показывает, что при низкой колебательной энергии (меньше половины высоты барьера) атом лития движется по периодическим траекториям вблизи атома азота, т.е. только в молекуле LiNC. В результате энергетический спектр (рис.6) имеет простую структуру и состоит из регулярно расположенных линий (A—E), причем каждой из них соответствуют определенные значения колебательных квантовых чисел. Структура волновых функций также достаточно четка (рис.6): они сконцентрированы вдоль пути наименьшей энергии.

При колебательной энергии, превышающей половину барьера, в системе появится хаотическое движение. Если же энергия атома лития превысит высоту барьера, оно становится преобладающим и атом может мигрировать между атомами азота и углерода. В спектре возникает большое число нерегулярно расположенных линий, которым не соответствуют никакие квантовые числа (см. рис.6; правая часть спектра). Структура волновых функций искажается (см. рис.6; функции J—L), и, хотя они по-прежнему сконцентрированы вдоль пути наименьшей энергии, вокруг траектории классического движения образуются «шрамы» — характерные признаки квантового хаоса. Классическое движение в этой области энергий также становится хаотическим, что подтверждается видом сечения Пуанкаре. Классический хаос в системе появляется при более низких энергиях, чем квантовый. В области энергий вблизи половины высоты барьера волновые функции еще регулярны, а на сечении Пуанкаре уже заметны островки хаоса.

Хаотическое колебательное движение характерно не только для нежестких, но и для обычных молекул, если энергия возбуждения высока. В молекуле, содержащей три или более атомов, существует не меньше трех видов колебаний, которые могут взаимодействовать друг с другом. Когда колебательная энергия высока, взаимодействие становится существенным, колебания перемешива-

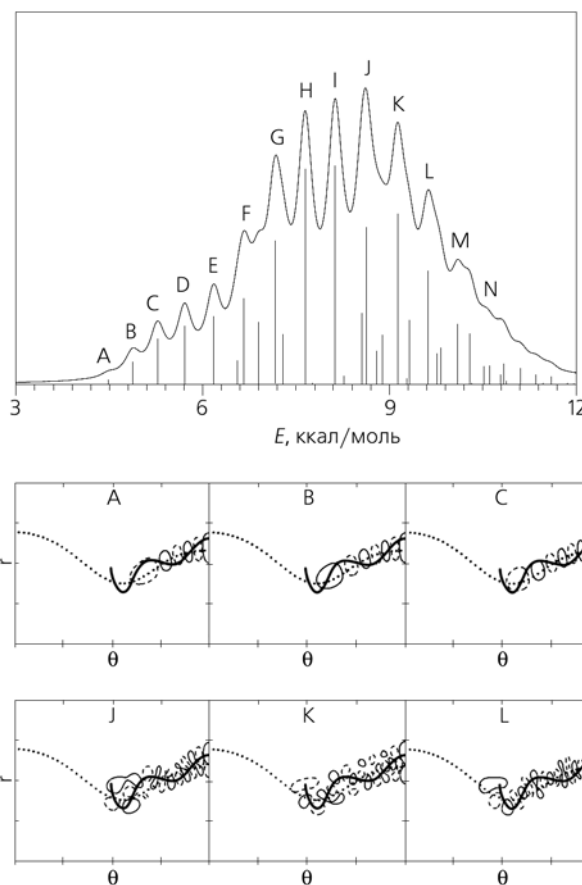


Рис.6. Проявления регулярного движения и квантового хаоса в системе LiNC / LiCN. Вверху — колебательный спектр: высокого разрешения (тонкие линии) и низкого (широкие полосы). При низком разрешении проявления хаоса сглаживаются. Внизу — волновые функции лития, соответствующие некоторым максимумам в спектре: A—C — регулярные, J—L — хаотические. Пунктирными линиями показан путь наименьшей энергии в реакции  $\text{LiNC} = \text{NCLi}$ , жирными — траектории классического движения.

ются, что приводит к хаотическому колебательно-му спектру и сложным волновым функциям. Такого рода взаимодействия наблюдались в молекулах  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CS}_2$  и др.

Хаос влияет не только на энергетические, но и на динамические свойства молекул. Если энергия сосредоточена в каком-либо одном колебании, вероятность того, что оно приведет к разрыву соответствующей связи, довольно велика, и скорость разрыва окажется высокой. Но если колебания сильно взаимодействуют друг с другом и происходит быстрое хаотическое перераспределение энергии между ними (т.е. релаксация), то реакция может протекать по нескольким направлениям сразу. Таким образом, хаос в некото-

рой степени противостоит попыткам вмешаться во внутреннюю жизнь молекул и селективно управлять образованием и разрывом отдельных химических связей [15]. Здесь важна скорость: чтобы управлять химическим процессом, нужно закачать энергию в некоторое колебание быстрее, чем хаос приведет к ее релаксации, в противном случае хаос наступит раньше, чем произойдет реакция, и управление окажется неэффективным.

В принципе хаотическое движение атомов возможно в любой многоатомной молекуле. Вопрос только в том, при каком энергетическом по-

роге оно начинается: у каждой молекулы он свой, причем у классического и квантового хаоса эти пороги могут быть разными. Квантовый хаос в химии чрезвычайно распространен, но весьма редко наблюдаем, поскольку экспериментальное изучение молекул, находящихся в высоковозбужденных электронно-колебательных состояниях, требует весьма изощренной техники. Но так как она совершенствуется, есть надежда, что число исследований, посвященных хаосу в химии, будет расти очень быстро. Может быть, даже экспоненциально, подобно тому, как растет расстояние между траекториями в хаотической системе. ■

## Литература

1. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М., 1990. Гл.2, 3.
2. Физическая энциклопедия. М., 1998. Т.5. С.397.
3. Шустер Г. Детерминированный хаос. М., 1998. С.13.
4. Заславский Г.М. Стохастичность динамических систем. М., 1984. С.27—31.
5. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику. М., 1988. Гл.4, 14.
6. Frombold T. M. et al. // Phys. Rev. Lett. 1995. V.75. №6. P.1142—1145.
7. Лоренц Э. Детерминированное непериодическое течение // Странные аттракторы / Ред. Я.Г.Синай, Л.И.Шильников. М., 1981. С.88—116.
8. Арнольд В.И., Авец А. Эргодические проблемы классической механики. Ижевск, 1999. С.15.
9. Haake F. Quantum signatures of chaos. Berlin, 1992.
10. Berry M.V. // Phys. Scripta. 1989. V.40. P.335—336.
11. Shapiro M., Taylor R.D., Brumer P. // Chem. Phys. Lett. 1984. V.106. №4. P.325—328.
12. Heller E. // Phys. Rev. Lett. 1984. V.53. №16. P.1515—1518.
13. Stechel E.B., Heller E.J. // Annu. Rev. Phys. Chem. 1984. V.35. P.563—589.
14. Arranz F.J., Borondo F., Benito R.M. // Eur. Phys. J. Ser. D. 1998. V.4. P.181—187.
15. Eryomin V.V., Umanskiy I.M., Kuz'menko N.E. // Chem. Phys. Lett. 2000. V.316. №3—4. P.303—310.
16. Heller E.J., Tomsovic S. // Phys. Today. 1993. №7. P.38—46.
17. Henon M., Heiles C. // Astron. J. 1964. V.69. №1. P.73—79.

### Палеонтология

#### Нелепый закон — угроза палеонтологической древности

Еще в 2002 г. американский школьник — внук владельца открытых угольных разработок в штате Алабама — рассказал учителю, что в окрестностях разработок встречаются окаменелые следы древних животных. Преподаватель — член любительского Палеонтологического общества Алабамы — довел это известие до Геологического управления штата. Начавшиеся официальные исследования подтвердили, что на мелководье устья некогда существ-

вовавшей там реки находится богатейшее скопление следов самых различных организмов каменноугольного периода. За короткое время было выявлено более 1600 каменных плит с довольно четкими отпечатками, свыше 2 тыс. их фотографий были помещены в Интернет.

Владельцы угольной разработки были готовы предоставить местность ученым. Но неожиданно экологическая комиссия штата потребовала начать в течение 30 дней закапывать бульдозером использованный угольный разрез, невзирая на его палеонтологическую ценность: федеральный закон 1977 г. обязывает владельцев

истощившихся шахт и открытых угольных разрезов восстанавливать нарушенный ландшафт — поверх разработок должен быть нанесен слой почвы толщиной не менее 10 м.

В Конгрессе США по ходатайству Палеонтологического общества началась длительная процедура принятия поправки к закону, которая привела бы к передаче участка угольного разреза в ведение Министерства внутренних дел: тогда необходимость приводить его в исходное состояние отпала бы и можно было избежать гибели ценного свидетельства эволюции жизни.

Science. 2003. V.301. №5634. P.746 (США).

# Автогенерационные рудообразующие системы

М.М.Константинов,

*доктор геолого-минералогических наук*

*Центральный геологоразведочный институт Министерства природных ресурсов России  
Москва*

Представим себе молодую, энергичную курицу, полную творческих и жизненных планов. Питается хорошо, ведет упорядоченный образ жизни. В один прекрасный день она начинает ощущать тяжесть внизу живота, а еще через некоторое время садится на корточек и... сносит яйцо. Процесс пошел. Петухов просят не беспокоиться.

В нашем примере курица — автогенерационная система, яйцо — продукт этой системы. Нечто подобное происходит и в рудной геологии.

Учение о месторождениях полезных ископаемых — обширная и древняя область знаний, возникшая еще с тех времен, когда первобытный геолог учился находить подходящие осколки кремня для охотничьего копья. В настоящее время общепризнаны четыре способа формирования рудных месторождений.

Первый, магматический, связан с кристаллизацией магматического расплава и обособлением рудосодержащей фазы. Яркий пример — наши медно-никелево-платиновые месторождения Норильского района.

Второй способ — осадочный. Рудная составляющая возникает при формировании осадка и его

преобразовании в породу. Наиболее простой случай — россыпи золота, платины, тяжелых минералов олова, циркона и др. в речном аллювии.

Третий способ, гидротермальный, связан с поступлением в трещины земной коры горячих водных или газовой-водных растворов, возникающих при кристаллизации магматического расплава и несущих металлические компоненты в виде различных соединений. При падении температуры и давления в полостях трещин растворимость таких соединений падает, и металлы кристаллизуются в форме различных минералов, в основном сульфидов, оксидов и силикатов. Примером могут служить многие жильные месторождения золотых, свинцово-цинковых и редкометалльных руд. Наконец, по четвертому, метаморфогенному, способу месторождения возникают в результате преобразования пород и заключенной в них первичной рудной минерализации под воздействием высоких температур и давлений. Так, например, богатые железорудные месторождения КМА (Курской магнитной аномалии) и Кривого Рога сформировались при преобразовании залежей железистых кварцитов в результате смятия и накопления оксидов железа в замках крупных антиклинальных складок.

В каждом из названных случаев связи прямо функциональны: магма—руда, осадок—руда и т.д. Возможны, конечно, и комбинированные, многоступенчатые варианты. Например, осадочная порода—магма—руда, но суть от этого не меняется. О том, что бывает принципиально иной механизм формирования руд, меня заставила задуматься давняя публикация старых геологов Дальстроя, в которой речь шла о Колымской золотоносной провинции и слагающем ее верхоянском терригенном комплексе.

Верхоянский терригенный комплекс — это огромные по мощности (до 15—18 км) толщи песчано-глинистых пород, формировавшихся с карбонового до юрского времени и охватывающих территорию всего северо-востока России, включая Якутию. Анализируя связь золотоносности бассейна р.Колымы с развитием верхоянского комплекса, геологи получили опытным путем (или, как принято говорить, эмпирически) следующую закономерность: наиболее продуктивные толщи верхоянского комплекса имеют мощность 8—10 км [1]. На территориях, где мощность комплекса существенно меньше или больше, продуктивность (количество добытого золота) резко падает (рис.1). Сами авторы никако-

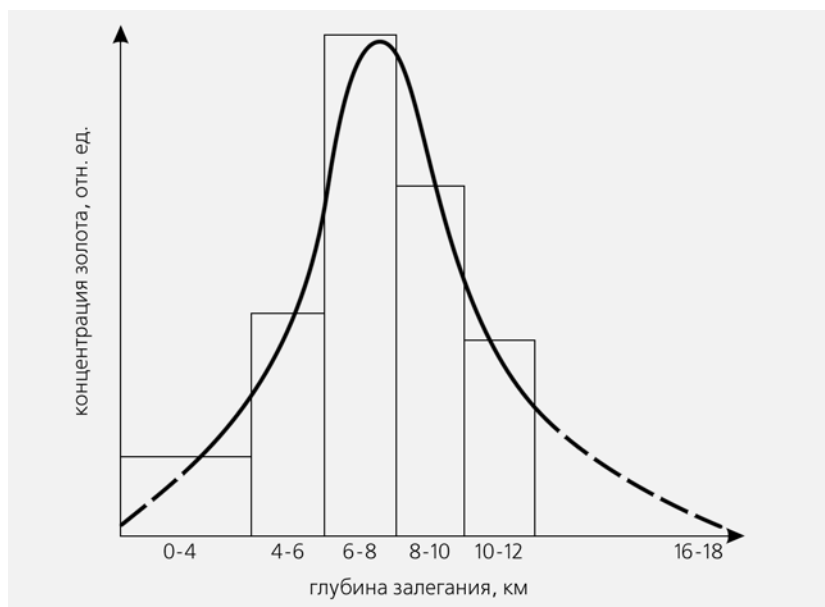


Рис. 1. Изменение золотоносности в зависимости от глубины залегания верхоянского комплекса (Центрально-Колымская обл.).

го объяснения данному заключению не дают, предоставляя инициативу вдумчивому читателю. Благодаря многолетнему, в нелегких трудах нажитому, личному опыту и сопоставлению имеющихся данных с материалами по другим однотипным золотоносным провинциям (в Якутии, на Чукотке, в Ленском районе Иркутской обл. и др.) родилась идея о достаточно универсальном существовании особых рудообразующих систем, которые было решено назвать автогенерационными.

Разделим условно общую кривую, представленную на рис.1, на три части, соответствующие различным геологическим обстановкам (рис.2): мощности осадочного глинисто-песчаникового комплекса сравнительно невелики (1–4 км), отвечают оптимальному варианту (8–10 км) и приближаются к максимуму (16–18 км). Абстрагируемся от непосредственно Колымского района и рассмотрим вопрос с более общих позиций.

Что может случиться в первом варианте? Казалось бы, ничего: сверху светит солнышко,

снизу прохладно, лежат себе породы, и никто на них не давит, ни снизу, ни сверху. На самом деле может произойти очень многое. В пермско-юрских осадочных толщах плато Колорадо в Америке, представленных чередующимися песчаниками и глинистыми сланцами, геологи находили стволы деревьев, целиком замещенные минералами урана (настураном и уранинитом) и ванадия. Месторождения урана имеют вкрапленный характер и связаны с пластами песчаников, сформировавшихся в условиях, приближенных к континентальным, с большим количеством растительных остатков. Последние как раз и концентрировали уран из растворов. Носителями же растворенного урана (а также ванадия, небольших количеств свинца и цинка) были грунтовые воды, частично подогреты за счет температурного геоградиента и фильтровавшиеся по захороненным русловым каналам.

Откуда взялся уран, и как он сумел целиком заместить древесную клетчатку? Считается, что в бассейне, где отлагались пе-

счано-глинистые толщи, сходные с колымскими, но с большим количеством органики, уран мог поступать из более древних плутонических и вулканических пород. Подобные месторождения, установленные и на других континентах, специалисты назвали гидрогенными, т.е. рожденными водой.

Значительные перемещения меди метеорными водами (выпадающими в виде атмосферных осадков) в горизонтах медистых песчаников при изменении окислительно-восстановительного режима допускал академик Н.М.Страхов для формирования гигантского месторождения Джезказган в Казахстане [2]. Здесь чередуются пласты сероцветных и красноцветных песчаников. Именно в сероцветах локализуются богатые медные руды. Их источником были метеорные воды, которые растворяли металлы, заключенные в красноцветных, и переотлагали их в сероцветных фациях. Последние играли роль восстановительного геохимического барьера, подобного растительным остаткам, осаждающим из растворов уран в свитах плато Колорадо. Страхов писал: «...в медистых песчаниках противопоставление красноцветных горизонтов, в качестве безрудных, сероцветным, в качестве рудных, вовсе не является первоначальным признаком меденосности толщ, но оформилось лишь в диагенезе, благодаря интенсивным и огромным по масштабам процессам перераспределения тяжелых металлов» (с.80).

Для золотоносных провинций подобный эффект не рассматривался, однако некоторые общие наблюдения можно привести. Так, крупное золотосульфидное месторождение Сухой Лог в Ленском золотоносном районе Иркутской обл. приурочено к пачке черных углистых сланцев в осевой части сжатой антиклинальной складки. Знаменитое американское месторождение Мазер Лод в Калифорнии представлено гигантской

(протяженностью свыше 200 км) свитой золотокварцевых жил, тяготеющих к черным углистым сланцам юрского возраста.

Кроме предложенной модели перераспределения рудного вещества, для золота возможна и другая, связанная с растворением его гуминовыми кислотами. Экспериментальными исследованиями доказана высокая способность золота к миграции в форме фульвокомплексов типа  $Au(OH)_2FK$  и к его последующему отложению. Подобный механизм, видимо, близок к механизмам миграции и концентрирования гидрогенных урановых руд. Таким способом, скорее всего, сформировалось золоторудное месторождение Куранах в Алданском районе (рис.3), которое приурочено к карстовым полостям, возникшим в кембрийских известняках, перекрытых юрскими углисто-глинистыми сланцами. Обычно эти образования связывают с проявлениями верхнемелового магматизма, однако возможен и другой генезис золотоносного карста. Гуминовые кислоты, обогащенные золотом, просачивались через сланцы и начинали растворять известняки, в дальнейшем кислоты разрушались и золото осаждалось.

В подтверждение этой гипотезы можно привести достаточно аргументов, но самыми весомыми представляются следующие. Изотопный состав серы и кислорода, слагающих руды, несомненно свидетельствует о заимствовании этих элементов из вмещающих пород и значительно отличается от их изотопного состава в соседних магматогенных месторождениях. Кроме того, поисковое бурение не установило никаких признаков существования рудоподводящих каналов на глубине карстовых воронок. Их размещение непосредственно замыкается на контактах с вышележащими сланцами.

Мы уже упомянули палеотемпературный градиент. На следующем уровне глубин (8–10 км)

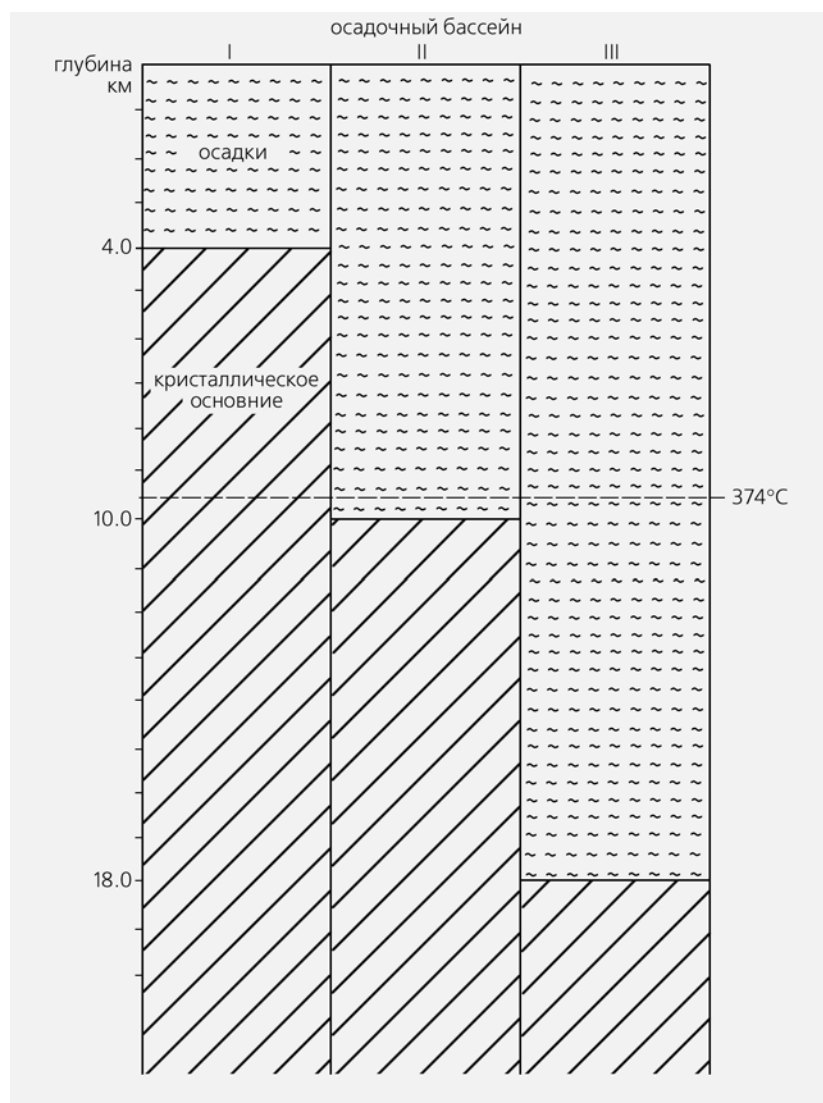


Рис.2. Три варианта формирования осадочного бассейна (пояснения в тексте).

его значение становится определяющим, поскольку нижняя граница осадочной толщи примерно совпадает с критической точкой воды 374°C, выше которой вода сохраняется только в парообразном состоянии. Что мы знаем о палеотемпературном градиенте? Для древних стабильных и холодных районов (как, например, древний щит Кольского п-ова, где была пробурена сверхглубокая скважина) палеотемпературный градиент составляет 1.1–1.6°C на 100 м. В современных областях активного вулканизма он дости-

гает 10 и даже 100°C на 100 м. Для Колымского региона, представлявшего собой длительно существовавший пологий тектонический прогиб, температурный градиент оценивается в 3–5°C. При таком расчете глубина прогиба в 8–10 км (которой отвечает максимальная продуктивность) как раз совпадает с глубиной критической температуры воды. При достижении в осадочном бассейне таких мощностей возникает конвекционная система: находящаяся под большим давлением паровая фаза поднимается вверх по

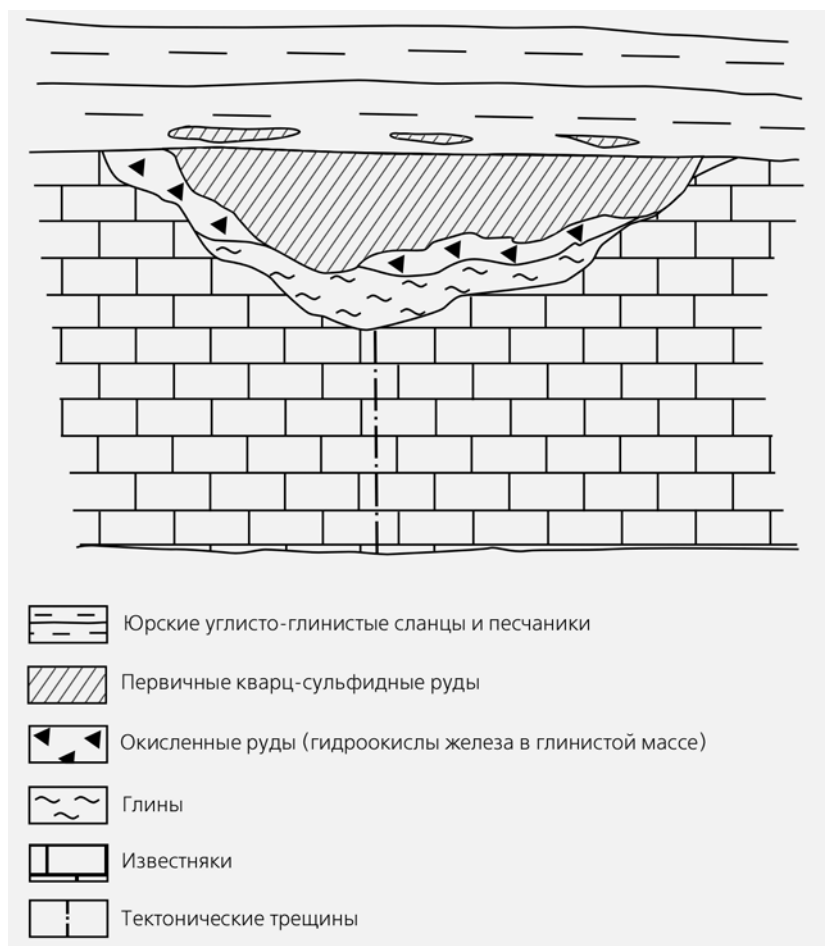


Рис.3. Схема месторождения Кураных.

системе пор и капилляров, а ей на смену поступают поровые и трещинные воды из верхних горизонтов. Кремнезем вмещающих пород вероятно всего переходит в раствор в форме кремневой кислоты  $H_2SiO_3$ , обладающей способностью растворять золото. Ближе к области рудоотложения, на глубинах 2—3 км от палеоповрхности, раствор все более нагружается кремнеземом и золотом. При резких падениях давления

в приповерхностной области он приобретает облик коллоида и в таком виде инъецируется в трещины и полости отслаивания в глинистых сланцах либо попадает на дно морского бассейна и перемешивается с осадками при ритмичных опусканиях дна. Возможность длительного, растянутого на миллионы лет, существования подобной автогенерационной системы и предопределяет ее значительную продуктивность.

## Литература

1. Аникеев Н.П., Биркис А.П., Драбкин И.Е., Куклин А.П. Основные закономерности размещения месторождений золота в юго-восточной части Главного золотоносного пояса Северо-Востока СССР // Генетические особенности и общие закономерности развития золотой минерализации Дальнего Востока. М., 1966. С.152—166.
2. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Т.III. М., 1962.

Наконец, рассмотрим еще один вариант на нашей схеме. Глубина осадочного бассейна достигает 16—18 км. Согласно экспериментальным исследованиям, начальные температуры образования магматического расплава при водонасыщении исходных пород резко падают и могут составлять всего около 550—600°C. Подобные температуры отвечают как раз таким глубинам. На них, без всякого вмешательства потусторонних сил, начинается образование магматического расплава, обусловленного внутренним развитием самой системы, — достижение ею температуры возникновения расплава на границе водонасыщенных пород и древнего кристаллического основания. Далее, процесс плавления, охватывая все большие объемы водонасыщенных пород, распространяется по горизонтали и вертикали до границы области максимального прогибания и соответственно границы минимальных температур плавления. Для Колымского района — это его центральная часть, вероятно, отвечающая зоне максимального прогибания в период формирования верхоянского комплекса. Воздействие магматического расплава приводит к отгонке рудных компонентов в смежную область, еще более обогащенную ими, тогда как сами гранитоиды, возникающие подобным образом, малопродуктивны.

Конечно, круг вопросов, связанных с формированием рудных месторождений в длительно развивающихся осадочных бассейнах, не исчерпывается вышеизложенным, возможны и другие геологические ситуации, в которых формируются автогенерационные рудообразующие системы. ■

## Астрономия

### Памятник в космосе

Известная прежними открытиями астроном Э.Ф.Хелин (E.F.Helin; Лаборатория реактивного движения НАСА США, Пасадена), работая на телескопе Паломарской обсерватории в штате Калифорния, обнаружила в июле 2001 г. существование семи астероидов, ранее науке не известных. Все «новые» малые небесные тела имеют примерно одинаковый размер и сходные орбиты, проходящие в поясе астероидов, между Марсом и Юпитером. Наблюдение за этим относительно плотно населенным поясом входит в международную программу «Слежение за околоземными астероидами».

И сама первооткрыватель, и руководство Паломарской обсерватории решили дать астероидам имена трагически погибших членов экипажа американского космического челнока «Колумбия». Отныне в небе существуют малые планеты: Майкландерсон, Калпачавла, Лаурелькларк, Дейвидбраун, Рикхасбенд, Уиллемкул и Ланрамор (согласно традиции название астероида должно состоять из одного слова, поэтому фамилию пришлось слить воедино с именем). Так астронавты, принесящие себя на алтарь познания тайн космоса, останутся в памяти человечества.

Science. 2003. V.301. №5635. P.915 (США).

## Космические исследования

### Обломок астероида для Японии

9 мая 2003 г. с космодрома Кагосима (о.Кюсю, Япония) с помощью трехступенчатой ракеты, работающей на твердом топливе, выведен в космос

аппарат «Muses-C», научная аппаратура которого предназначена для изучения малых небесных тел. В 2005 г. аппарат сблизится с астероидом 1998 SF 36, чья орбита проходит в 300 млн км от Земли.

С аппарата в астероид будет «выстрелен снаряд», который должен выбить с поверхности его 500-метрового тела несколько однограммовых обломков, подхватить их и доставить к возвратной капсуле. Она вернется на Землю в 2007 г. и совершит посадку в районе космодрома Вумера (штат Южная Австралия).

Это будут первые образцы внеземного вещества, добытые учеными в космосе после 1976 г., когда подобная операция удалась советским специалистам с использованием аппарата «Луна-24». Японские ученые намерены до конца 2005 г. осуществить еще четыре запуска космических аппаратов с помощью ракет-носителей типа «М-V» (масса 140 т, длина 30.8 м). Такая ракета способна забросить искусственный спутник Земли массой 1.85 т на орбиту высотой 250 км. Подготовкой аппарата «Muses-C» занимался Японский институт космических исследований и астронавтики.

Spaceflight. 2003. V.45. №7. P.271 (Великобритания).

## География

### Из Китая песок унесло в Альпы

Песчинки, поднятые и унесенные ветром из пустыни Такла-Макан (северо-западная область Китая), проделали путь длиной более 20 тыс. км: они пересекли Тихий океан, затем — Северную Америку, Атлантику и приземлились в Пиренеях и Альпах.

Миграцию песчинок исследовал Ф.Грузе (F.Grousset; Уни-

верситет Бордо, Франция) совместно с коллегами из Колумбийского университета в Нью-Йорке. На основании изотопного анализа частиц пыли, которые содержались в снегах, выпавших в Пиренеях и Альпах зимой 1991 г., и моделирования глобальной динамики атмосферы за тот же сезон была установлена географическая «родина» песчинок. Свое путешествие они совершили за две недели (с 25 февраля по 7 марта 1991 г.) со струйными течениями — мощными воздушными потоками в верхней атмосфере, скорость которых обычно достигает 200—300 км/ч.

Science et Vie. 2003. №1030. P.36 (Франция).

## Экология

### Игрушки в океане

10 января 1992 г. в водах северной части Тихого океана, на значительном расстоянии от берегов Китая, оказалось — в результате падения с борта контейнеровоза — 29 тыс. различных пластиковых игрушек. Течениями их отнесло через Берингов пролив, море Бофорта и проливы Канадского Арктического архипелага в Атлантику — в прибрежные воды Гренландии и Исландии; в последние годы игрушки находят на Восточном побережье США и на европейских пляжах.

За путями их перемещения наблюдает океанограф К.Эббесмейер (C.Ebbesmeyer), долгое время изучающий дрейф по океану различных предметов. Собранные ученым информация оказалась весьма полезной для прогностического моделирования течений в рамках программы OSCURS (Ocean Surface Currents Simulation — Моделирование поверхностных течений океана).

Science et Vie. 2003. №1033. P.32 (Франция).



# Бэровские бугры — загадка Северного Прикаспия

Вести из экспедиций

А.А.Свиточ,

доктор географических наук

Т.С.Клювиткина

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

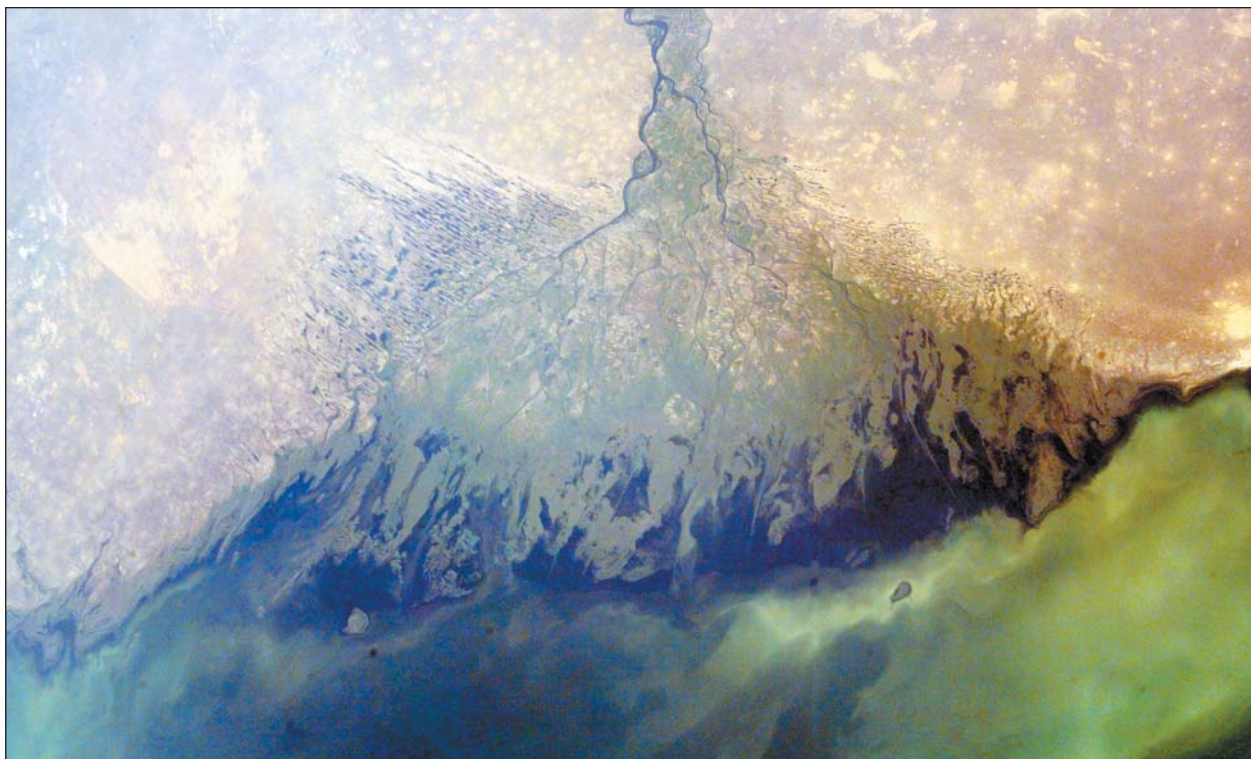
Два года подряд наша большая группа палеогеографов работает в Северном Прикаспии. Образное описание этой необычной местности дано знатоком аридных территорий Б.А.Федоровичем. «При взгляде с самолета до далеких горизонтов видны поля воды. Тысячи длинных, узких, вытянутых прямолинейно и параллельно друг другу озер, солончаков, ильменей и западин чередуются с такими же прямолинейными, округлыми в сечении и узкими увалами, напоминающими какие-то гигантские бревна, правильными рядами разложенные на земле и слегка, лишь на четверть, выступающие из воды... Этот замечательный рельеф тянется до берега Каспия, постепенно все более заполняясь его водами, <...> но не заканчивается даже на дне морском, где сквозь мелкие воды просвечиваются на дне такие же длинные, округлые и пологие увалы... Поражает какая-то искусственность этого рельефа, настолько он правилен, однообразен и геометричен в своих очертаниях» [1]. Формы, именуемые в этом отрывке увалами, более известны специалистам как бэровские бугры. Они названы в честь знаменитого естествоиспытателя К.М.Бэра (1792—1876), который

работал в этих местах около 150 лет назад по заданию Петербургской академии наук. Он первым описал развитую в Северном Прикаспии систему почти широтно вытянутых гряд разной протяженности, называя эти удлинённые возвышенности местным понятием бугры.

На обширной территории от устья Кумы до нижней Эмбы бугры образуют целые скопления, часто на участках древних речных дельт. Самое крупное скопление располагается в Нижнем Поволжье, по обе стороны долины Волги, но особенно многочисленны бугры на западной и восточной перифериях волжской дельты. Здесь они представляют собой протяженные гряды высотой 7—10 м, шириной 150—200 м, а длиной от 0.5 км до 2—3 км и более. Располагаются эти возвышенности параллельно или кулисообразно, разделены более широкими межгрядовыми понижениями, которые в настоящее время заняты пресными (ильменями) или солеными (сорями) озерами и лиманами. В центральной части дельты бугры в значительной степени уничтожены или подрезаны морскими водами новокаспийской трансгрессии Каспия, либо эрозией речных русел.

Начиная с обстоятельной работы Бэра [2], о буграх написано немало [3, 4]. Тем не менее их

происхождение так окончательно и не выяснено. Сам Бэр считал, что рельеф бугров «доказывает быстрый насильственный сток Каспийского моря, который, конечно, мог продолжаться недели и даже месяцы, и что он произошел притом через Кумо-Манычскую низменность», т.е. связывал образование бугров с быстрым падением (регрессией) уровня мелководного Каспия. В дальнейшем генезис бугров объясняли тектоническими движениями, воздействием ледников и ветра, речным стоком и размывом, подводным оползанием и накоплением на морском шельфе и т.д. Главенствуют, однако, три основные гипотезы. Первая, эрозионная, предполагает, что бэровские бугры возникли в результате размыва первичной морской поверхности. Вторая, водно-аккумулятивная, — что они образовались, накапливаясь в водной обстановке (морской, подводно-дельтовой, либо речной). Третья, наиболее популярная, эоловая гипотеза, связывает формирование бугров с перетолжением и накоплением материала ветром, подобно тому, что сейчас происходит во внутриконтинентальных пустынях. Парадоксально, но все эти, а также другие, более экзотичные, представления до настоящего времени не дают однозначно убедительного объяснения про-



Дельта Волги. На космическом снимке хорошо видны бэровские бугры, концентрирующиеся на восточной и западной перифериях дельты. Севернее располагаются частично переработанные ветром позднехвалынские отложения. Снимок сделан с борта МКС в августе 2002 г.

исхождения бугров. Согласно с одними фактами, они часто плохо увязываются с другими или даже противоречат им. Думается, что причина — недостаточная изученность бугров и особенно строения толщи, их слагающей. Изучением сложения и структурных особенностей бугров мы и занимались во время работ в Северном Прикаспии.

Главные черты морфологии и ориентации бэровских бугров определяет их толщина. Она состоит из песков с преобладающей желто-бурой и коричнево-бурой расцветкой, с разнообразной, преимущественно наклонной слоистостью. Пески пылеватые, сортированные, в основном мелкозернистые, кварц-полевошпатовые с множеством мелких обломков глин и минеральных агрегатов, среди них зерна полевых шпатов и глауконита. В тяжелой фракции песков преобладают непро-

зрачные рудные минералы, много эпидота, других устойчивых минералов и роговой обманки, реже встречаются пироксены. По этим показателям минеральный состав бугровой толщи весьма сходен с подстилающими ее отложениями раннехвалынской трансгрессии Каспия, происходившей 20—11 тыс. лет назад по данным абсолютного датирования.

Окраска бугровой толщи во многом связана с количеством заключенных в ней глинистых частиц, образующих отдельные прослойки и отдельные включения. Их содержание направлено уменьшается снизу вверх, обуславливая изменение окраски песков от темно-бурой и коричнево-бурой (шоколадной) к бурой и желто-бурой.

У наиболее сохранившихся бугров отчетливо видны нижняя и верхняя части, различающиеся между собой количеством содер-

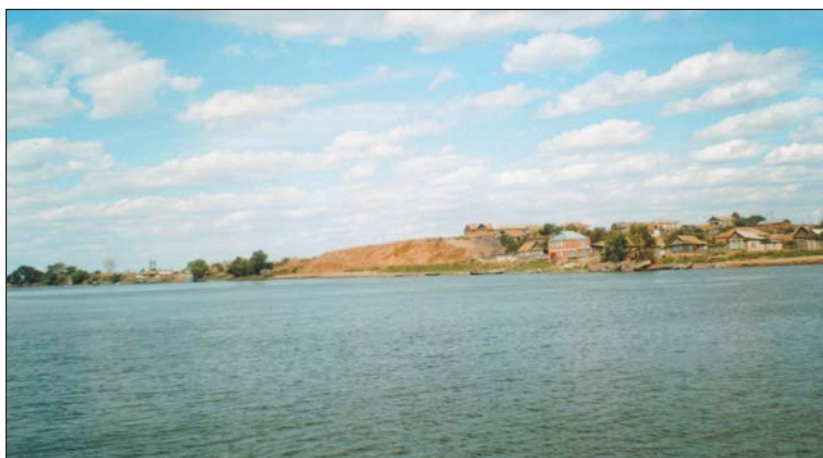
жащихся темноцветных компонентов, характером залегания, наличием между ними резкой границы. Кроме того, прослеживаются азимутальное и угловое несогласие слагающих бугры слоев, следы перерыва между ними, текстурные различия, раздел из эоловых песков, характер последующих за накоплением преобразований, разное содержание ископаемых остатков.

Толща бугров в разной степени насыщена обломками и крайне редко целыми створками раковин моллюсков. В нижней части детрит часто обильный, сверху редкий. Среди обломков преобладают остатки раннехвалынских моллюсков рода *Didacna*: *D.trigonoides*, *D.protracta* и *D.parallellella*, встречаются также фрагменты — *Dreissena distincta*, *Dr.polymorpha*, *Monodacna caspia*, *Adacna vitrea* и др. Важно подчеркнуть, что вся эта фауна находится не в первичном поло-



Ильмень в дельте Волги.

Бугор Ленино-Южное подмыт руслом Волги. В верхней части разреза хорошо видно косое прислонение верхних и нижних отложений, слагающих бугор. Нижняя часть разреза — цоколь бугра: вверху — нижнехвалынский, внизу — хазарские морские осадки.



Бугор Марфино подмыт волжской протокой.

жении, а переотложена из подстилающих отложений.

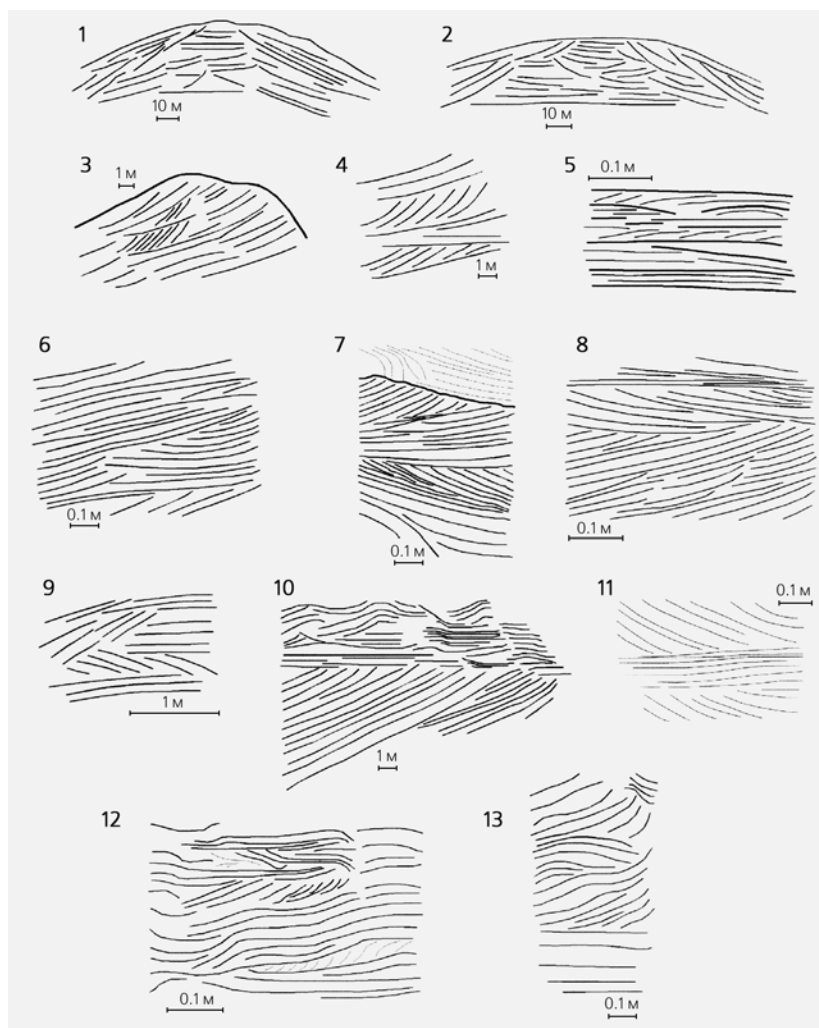
Бугровая толща подстилается разнообразными осадками. Это преимущественно нижнехвалынские шоколадные глины и пески, либо более древние породы. В карьере бугра Восточный Красный Яр обнаружены отложения, залегающие между нижней бугровой толщей и хвалынскими осадками, образовавшимися в континентальных условиях — в эпохи низкого стояния Каспия. Заметен резкий контакт в виде следов размыва между бугровыми отложениями и подстилающими породами.

На самых верхних частях бугров обычно нет слоя более молодых осадков. Здесь в кровле толщи видны следы пустынного почвообразования. Склоны бугров покрыты плащом субаэральных отложений — склоновых и эоловых. На юге Нижнего Поволжья, на абсолютной высоте –20 м, нижние части бугров обычно подрезаны водами новокаспийской трансгрессии и частично перекрыты морскими осадками, слагающими низкую морскую террасу.

Разнообразна слоистость (текстура) бугровых отложений: простые, диагональные и субгоризонтальные, реже линзовидные и волнистые, слойки в разных сочетаниях образуют сложные текстуры. Почти для всех бугровых отложений характерна микрослоистость (полосчатость).

Мы провели замеры основных элементов залегания слойков. Оказалось, что их углы наклона весьма разнообразны — от 0° до 35° и более. Горизонтальное и субгоризонтальное (0–5°) залегание имеют менее 10% слойков; малые углы (6–15°) характерны для 40%; средние (16–25°) — для около 30% и крутые (более 25°) для более 20% слойков.

Для азимута наклона устанавливается резкое преобладание (около 55%) падения слойков на северо-запад и север. Более 30% наклонены на юг и юго-



Типы слоистости (текстуры) бугровой толщи. Поперечные разрезы: западной (1) и восточной (2) стенок карьера бугра Дундук, восточной стенки карьера бугра Грязный (3); крупная косая текстура бугра Восточное Началово (4), горизонтальная и слабо выпуклая пологонаклонная текстура на восточной стенке карьера южного склона бугра Дундук (5), сложенная текстура в карьере бугра Икряное (6), крупная косая и диагональная слоистость в карьере бугра Грязный (7), крупная диагонально-линзовидная слоистость в карьере бугра Восточное Началово (8), перекрестная слоистость в карьере бугра Дундук (9); волнистая и крупно диагональная слоистость (10), сочетание крупной косой и субгоризонтальной слоистости (11), сложная волнистая слоистость в карьере бугра Восточный Красный Яр (12); сложное сочетание наклонно-волнистой и горизонтальной слоистости в карьере бугра Стенка (13).

запад, и совершенно незначительное количество замеров относится к субширотному направлению — на запад около 6%, на восток менее 2%. Следовательно, абсолютно господствующее (около 85%) направление

падения слойков субмеридиональное и меридиональное с северо-западной доминантой.

Угол расхождения между азимутами простираения бугров и падения слоев — важный количественный показатель для оп-



Бугор Восточный Красный Яр. Верхняя, более рыхлая, бугровая толща хорошо маркируется птичьими гнездами.



Бугор Восточный Красный Яр. Виден характер слоистости верхнебугровых и нижнебугровых отложений.

ределения направления перемещения обломочного материала при накоплении бугровой толщи. В 80% случаев разница между ними была более  $45^\circ$ . А практически перпендикулярное несоответствие углов ( $76\text{--}90^\circ$ ) из 450 замеров — более 25%.

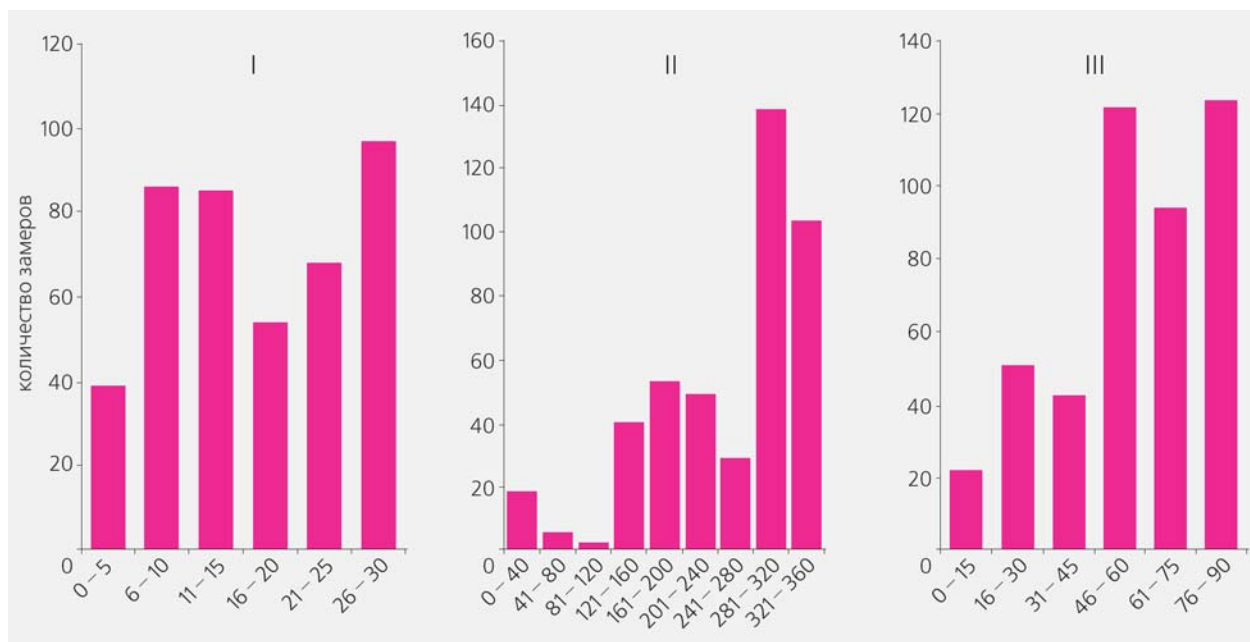
Разный тип слоистости бугровой толщи несомненно указывает на разнообразие обстановок накопления и генетичес-

кой принадлежности отложений. Так, из простых текстур здесь чаще встречается диагональная и косая слоистость. Ее наличие в осадках характеризует в первую очередь динамичную обстановку однонаправленного накопления, которая, строго говоря, могла осуществляться в разных природных условиях — как в водной среде (морской, речной, дельтовой),

так и вне ее (эоловой). Часто отмечаемые в бугровой толще круто падающие слои в целом не характерны ни для осадков мелководий и пляжа, ни для эоловых отложений. Тонкие слои горизонтальной и субгоризонтальной текстуры совсем не типичны для ветровой седиментации и отражают спокойные условия осаждения материала, главным образом в воде. Встречающиеся реже перекрестная, волнистая и линзовидно-ячеистая текстуры указывают, что накопление осадков шло в постоянно меняющейся водной обстановке. Частые сочетания косой и диагональной слоистости, разделенных тонкими горизонтальными слойками, в целом не характерны для осадков ветрового происхождения и более типичны для водной обстановки как наземной (дельтовой, речной), так и морской. Крупная полого- и косоволнистая слоистость более характерна для подводных донных течений, а не для осадков пляжа. Словом, наличие в бугровой толще иерархии текстур свидетельствует о сложном ходе осадконакопления.

О разнообразной обстановке формирования бугровой толщи свидетельствуют и замеры углов падения слойков, спектр которых достаточно широк — от  $0^\circ$  до  $40^\circ$  с примерно близким распределением углов с небольшим, средним и крутым наклоном. Условия спокойной седиментации были редкими (около 5%), в то время как весьма динамичные отмечались гораздо чаще (более 25%).

Судя по значениям углов расхождения простирания бугров и падения слоев при образовании бугровой толщи, резко преобладало субмеридиональное и меридиональное направления перемещения наносов, с северо-западной и северной доминантами. Резкие азимутальные различия свидетельствуют, что в основном бугровая толща — продукт накопления наносов, передвигавшихся по крутой ка-



Гистограммы замеров основных элементов текстуры бугровой толщи: I — углы наклона слоев, II — азимуты наклона слоев, III — расхождение между азимутами наклона слоев и азимутами простираения длинной оси бугров (углы расхождения).

сательной (более  $45^\circ$ ), либо перпендикулярно к длинной оси бугров, т.е., по сути дела, фронтально со стороны Каспия.

Изложенные материалы позволяют сделать некоторые выводы о происхождении бэровских бугров Нижнего Поволжья.

По данным радиоуглеродного анализа, бугры образовались от 10 до 6,5 тыс. лет назад. Это однозначно определяется по залеганию бугровых отложений на нижнехвалынских породах и перекрытию (прислонению) их осадками новокаспийского моря. Условно можно выделить пять этапов формирования бугров: 1 — во время крупной регрессии Каспийского моря произошло накопление подбугровой толщи. Речные системы Нижнего Поволжья в это время протягивались далеко к югу на осушавшийся шельф Северного Каспия, где располагались их дельтовые участки. По-видимому, оставленные морем нижнехвалынские отложения в это время выветривались, тем самым подготавливаясь для после-

дующего перемещения и концентрации в ядрах бугров.

2 — формирование нижнебугровой толщи, совпавшее с наступлением позднехвалынского Каспия. Это был важнейший момент в истории возникновения бугров — образование на мелководье в динамичной обстановке системы субширотных гряд, почти полностью совпадающих с ориентировкой и морфологией современных бэровских бугров.

3 — непродолжительный континентальный перерыв и последующий за ним частичный размыв водами вновь наступавшего позднехвалынского моря преимущественно южных склонов бугров. Об этом свидетельствуют круто падающие к северу слои в сохранившихся от уничтожения нижнебугровых отложениях. Другими словами, уцелели северные части нижнебугровой толщи, а южные были размывы со стороны Каспия.

4 — накопление отложений, облекающих частично размываемые ядра нижнебугровой толщи.

По-видимому, это происходило в положительную стадию (сартаскую) позднехвалынской трансгрессии. При подъеме уровня бугры были бы размывы.

5 — длительная эпоха от окончания накопления верхнебугровых отложений до нынешнего времени. Сформировалась современная морфология бугров, они были частично подработаны речной эрозией, водами новокаспийского моря, ильменей и соров, разрушились их верхние части, склоны покрылись эоловым и делювиальным покровами.

Следует отметить, что в истории побережий Каспия в плейстоцене и в более ранние периоды образования структур, сходных по морфологии и внутреннему строению с бэровскими буграми, не наблюдалось, этого же не отмечалось на ближних и дальних сопредельных территориях. Некоторые исследователи считали генетическими аналогами бэровским буграм гривный рельеф на юге Западной Сибири и эоловые гряды в средне-



Современный золотой рельеф Нижнего Поволжья не имеет ничего общего с морфологией и строением бэровских бугров.

азиатских пустынях, но эти образования ничего общего, по нашему мнению, с бэровскими буграми не имеют.

Совершенно справедливо мнение многих специалистов о позднехвалынском возрасте бугров, сложном строении бугровой толщи и этапности ее образования, хотя при этом стадийность часто понимается по-разному. Но важно другое — очевидно, что бугры не являются результатом «одноактного творения».

Особенности слоистости и состава бугровой толщи указывают, что слагающие ее осадки не принадлежат к отложениям только одной генетической группы (исключительно морской, эоловой, речной и т.д.). Вероятно, в сложении бугров

значительное участие принимают мелководные морские и, возможно, подводно-дельтовые отложения.

Строение бугров и разнообразие их текстур резко противоречит представлению об их эрозионном, подводно-оползневом и эоловом происхождении. Результаты массовых определений углов расхождений направления падения слоев и длинной оси простираения бугров так же не позволяют согласиться с мнением об их образовании путем накопления бугровой толщи в направлении, параллельном простираанию длинной оси в эоловой, либо водной обстановках.

Как видно, многие вопросы происхождения бэровских бугров можно считать решенными, однако некоторые из них до на-

стоящего времени не находят ответа. Один из них и самый главный — механизм и причины образования наблюдаемой ныне в рельефе Нижнего Поволжья морфологической картины — системы субширотно ориентированных гряд и холмов, разделенных протяженными депрессиями. Пути его решения наметил еще Бэр: «Уровень Каспийского моря понизился не постепенно, а вдруг. Памятники, свидетельствующие об этом, — бугры» [2]. Другими словами, происхождение этих загадочных форм рельефа, возможно, связано с резким падением Каспия. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-05-64131.**

## Литература

1. Федорович Б.А. // Изв. АН СССР, сер. географ. и геофиз. 1941. №1. С.95—116.
2. Бэр К.М. Ученые записки о Каспийском море и его окрестностях // Записки Императорского Русского географического об-ва. Кн.ХI. СПб., 1856.
3. Белевич Е.Ф. // Геоморфология. 1979. №2. С.57—68.
4. Николаев В.А. О рельефе бэровских бугров низовья Волги // Памяти акад. Л.С.Берга. М.; Л., 1953. С.331—343.

# Морские слизни

А.М.Токранов, А.М.Орлов

Для большинства людей слизни — это безраковинные моллюски с червеобразным телом, которых часто можно встретить в лесу, собирая грибы, или на даче в грядке, а то и на дорожке городского парка. Но мало кто знает, что столь непривлекательное русское название получили и морские животные — мягкотелые со слизистыми, студнеобразными покровами рыбы семейства Liparidae, по форме напоминающие головастика. Поскольку мясо морских слизней не съедобно, они не представляют интереса для рыболовства.

До недавнего времени, как ни странно, изучением этих необычных и многочисленных рыб (их уловы порой достигают 3–5 т за траление) почти не занимались. Между тем, по мнению известного российского ихтиолога и знатока тихоокеанских рыб П.Ю.Шмидта, липаровые рыбы составляют основу ихтиофауны Охотского и Берингова морей (да, пожалуй, и всей северной части Тихого океана) [1]. Лишь в последние два-три десятилетия интерес исследователей к морским слизням возрос, что связано с их исключительным разнообразием в окраске (от практически бесцветной, полупрозрачной до ярко-розовой или черной) и внешнем строении (отличаются они по форме тела, вели-



**Алексей Михайлович Токранов**, кандидат биологических наук, заместитель директора Камчатского филиала Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения РАН. Область научных интересов — видовой состав ихтиофауны северной части Тихого океана, распространение и экология массовых и малоизученных видов рыб, структура сообществ.



**Алексей Маркович Орлов**, кандидат биологических наук, заведующий сектором Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. Занимается изучением пространственного распределения, запасов, трофических отношений, биологии, зоогеографии и систематики рыб северной части Тихого океана, а также международным сотрудничеством в области морских исследований.

чине плавников и присасывательного диска, наличию усиков или шипиков). Кроме того, привлекают ученых и особенности биологии этих рыб, которые, как выяснилось в 90-е годы прошлого столетия, играют немаловажную роль в трофической системе вод материкового склона и прилегающего к нему шельфа. В результате число описанных

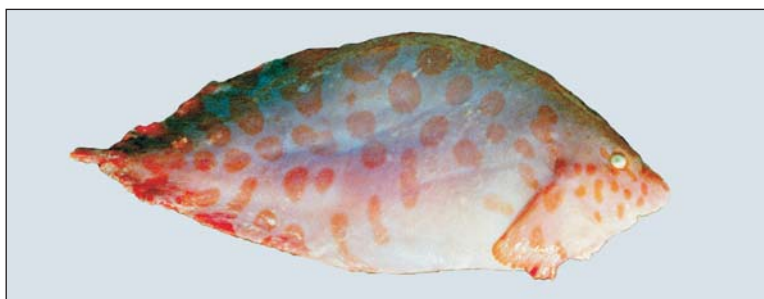
таксонов (новых видов и даже родов) морских слизней растет год от года; только в северо-западной части Тихого океана (прежде всего, Охотском море) — центре происхождения морских слизней — уже открыто более сотни видов [2–4].

Для населяющих прибрежные воды слизней характерно расширенное спереди и не-





Прибрежные виды морских слизней рода *Liparis*.



Щелеглазый морской слизень (вверху) и шершавый карепрокт — обитатели вод верхней зоны материкового склона и прилегающего к ней шельфа.

сколько сплющенное сверху тело, крупная широкая голова и хорошо развитые грудные плавники. Брюшные плавники у них слились и образуют мощную присоску, диаметр которой у некоторых видов достигает трети или даже половины длины головы. С помощью этой присоски прибрежные морские слизни прикрепляются к подводным камням, водорослям и раковинам моллюсков, что позволяет им удерживаться на участках с сильными течениями или в прибойной зоне. Действует присоска очень эффективно: выловленные особи нередко столь прочно присасываются к палубе судна, что их трудно оторвать.

Морские слизни, обитающие в водах материкового склона на глубинах 200—1000 и более метров, выглядят немного иначе: их тело сжато с боков и вытянуто вверх, лучше развиты вертикальные и грудные плавники. Размеры же брюшной присоски, наоборот, незначительны, и у некоторых видов (например, *Elassodiscus* sp. и *Paraliparis* sp.) составляют всего 1—2 мм. Более всего отличаются от прибрежных те морские слизни, которые живут в толще воды на больших глубинах (батипелагические виды родов *Acantholiparis*, *Nectoliparis*, *Rhinoliparis*). Тело их вытянуто в длину, сжато с боков и постепенно утончается к хвостовому плавнику, превращаясь чуть ли не в нить, все плавники относительно небольших размеров, а брюшная присоска и вовсе отсутствует.

Спинной и анальный плавники большинства морских слизней состоят из мягких и гибких лучей. Но, как известно, нет правил без исключения. У довольно обычного в тихоокеанских водах северных Курильских о-вов аллокарепрокта Джордена (*Allocareproctus jordani*), например, кончики первых лучей спинного плавника острые и твердые. Кожа у множества слизней покрыта мелкими, напоминающими колючки кактусов шипиками, за что один из них, очевидно, и получил название — шершавый карепрокт (*Careproctus rastrinus*).

Нижние лучи грудных плавников некоторых видов морских слизней отходят от оснований так далеко, что создается впечатление, будто это

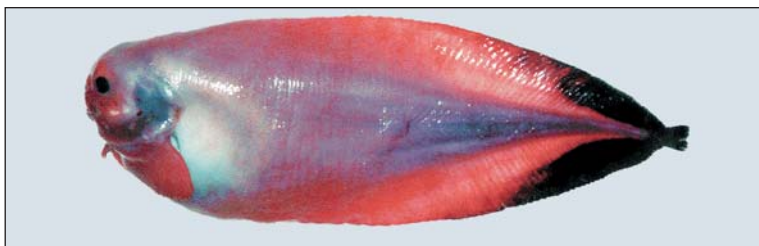
длинные брюшные плавники. У обнаруженного совсем недавно в тихоокеанских водах северных Курильских о-вов перчаточника Беккера (*Palmoliparis beckeri*) нижние лучи грудных плавников даже образуют лопасти с кистеобразным расширением на конце, похожим на руку человека с растопыренными пальцами. Причем окраска самой рыбы — розовая, тогда как «кисти» нижних лопастей грудных плавников — ярко-белые, словно на них надеты перчатки. Именно благодаря такой особенности строения этот морской слизень и был назван перчаточником.

Предки морских слизней, видимо, были мелководными прибрежными рыбами, а затем постепенно завоевали глубины морей и океанов. В наши дни их можно встретить от литорали до максимальной для рыб глубины — 7579 м.

В 1953 г. во время работы легендарного научно-исследовательского судна АН СССР «Витязь» в Курило-Камчатской впадине чуть южнее мыса Лопатка на широте о.Парамушир был выловлен один из видов морских слизней (*Pseudoliparis amblystomopsis*) на глубине 7210—7230 м [5].

Среди морских слизней встречаются как мелкие прибрежные виды длиной 8—10 см и массой тела всего в несколько граммов (если повезет, некоторых из них можно обнаружить прямо под камнями в приливно-отливных лужах во всех дальневосточных морях), так и крупные формы — более 40—55 см в длину и массой тела 1—3 кг [6]. В водах материкового склона северных Курильских о-вов обитает охотский липарис (*Liparis ochotensis*) и симуширская полипера (*Polypera simushirae*) до 80 см в длину и массой в 11 кг [7].

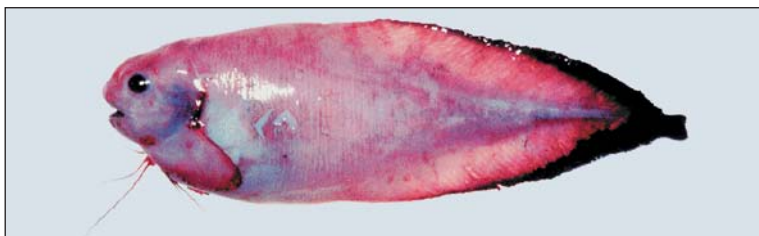
Одни из морских слизней (большинство видов родов *Liparis*, *Crystallichthys*, *Careproctus*, *Elassodiscus*, *Paraliparis*) — бентофаги, питающиеся мелкими донными беспозвоночными животными (бокоплавами, креветками, червями, актиниями, офиурами), другие — хищники (например, та же симуширская полипера), маскирующиеся на дне и хватающие проплывающих мимо зазевавшихся рыб, длина которых нередко превышает 30 см [8]. По типу питания особенно выделяются высокотельный



Короткоперый элассодиск.



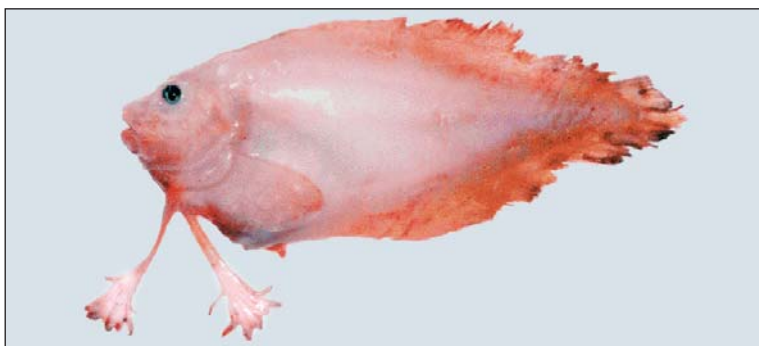
Аллокарепрокт Джордена.



Карепрокт Коллетта.



Длинноперый элассодиск.



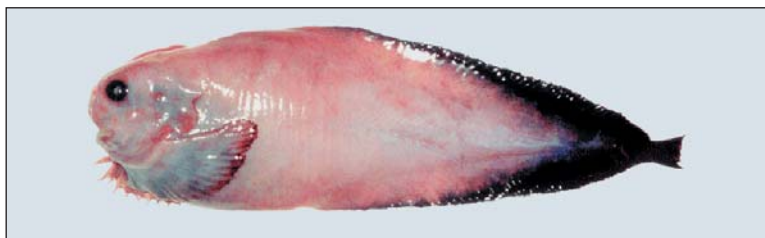
Перчаточник Беккера.



Симуширская полипера.



Высокотельный карепрок.



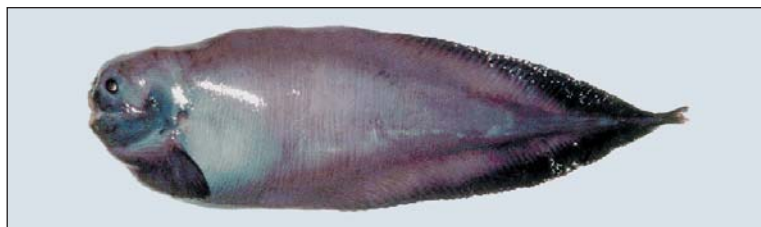
Чернопалый, курносый и широколобый карепрокты.

карепрокт (*C.roseofuscus*), морской слизень-акулозуб (*Squaloliparis dentatus*) и карепрокт Коллетта (*C.colletti*), поедающие исключительно актиний, а, кроме прочего, несущие, в отличие от своих сородичей, наибольшее количество слизи на своих покровах.

Не менее разнообразны морские слизи и по окраске. Мелководные формы рода *Liparis* окрашены довольно пестро, по всему телу у них разбросаны многочисленные пятна или полосы. На глубине 100—300 м обитают виды, окрашенные в светлые или ярко-розовые тона, до 2500 м — красные или красно-бурые, еще глубже — темные или даже черные, а свыше 6—7 км — бесцветные виды (например, *Pseudoliparis amblystomopsis*), сквозь кожу которых просвечивают розовые мышцы. Однако и среди относительно мелководных видов наряду с розово окрашенными экземплярами иногда встречаются темные (меланистические) особи, что обусловлено избыточным содержанием в их коже пигмента меланина.

Плодовитость всех изученных видов морских слизней невысока. Довольно крупные икринки большинство из них откладывает на покрывающие дно гидроида, губки или непосредственно между камней. У некоторых же видов слизней, обитающих на одной глубине с крабами (камчатским, синим, равношипым и др.), есть замечательное приспособление, позволяющее рыбам прятать икру в более надежное место. Впервые это наблюдал известный российский ученый Т.С.Расс в сентябре 1949 г. у западного побережья Камчатки [9]. Ко времени нереста у самок этих морских слизней вырастает похожий на кожистую трубку яйцеклад длиной до 8—10 см, с помощью которого они откладывают зрелые икринки размером 5—6 мм в околожаберную полость крупных крабов. По-видимому, самка подкрадывается к крабу сзади и, используя свой яйцеклад, помещает икру в щель между задним краем панциря и брюшком. Отложенные икринки, с одной стороны, надежно защищены крабовым панцирем от желающих ими полакомиться морских обитателей, с другой — непрерывно

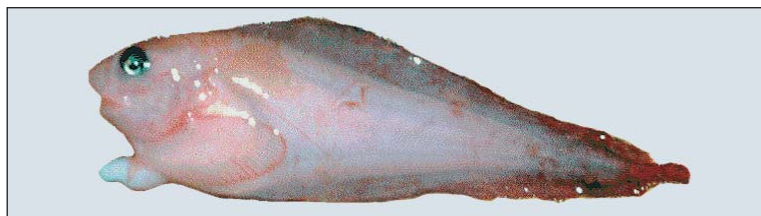
омываются свежим током воды, проходящим через жабры краба. Такие, похожие на лепешки, кладки крупной икры краболовы находили под панцирями выловленных крабов и прежде, но не знали их принадлежности. После завершения эмбрионального развития выклюнувшиеся из икринок личинки морских слизней покидают свое надежное убежище и, пройдя пелагическую стадию, возвращаются к придонному образу жизни. Считалось, что отношения крабов и морских слизней носят симбиотический характер [10], однако сравнительно недавно выяснилось, что нахождение икры и личинок морских слизней под карапаксом крабов отнюдь небезопасно для их владельцев [11]. Кладки икры травмируют жабры краба, что приводит к некрозу тканей и гибели животного. Выяснилось, что уровень смертности крабов, ставших живыми инкубаторами для выведения морских слизней, выше на 35% по сравнению с другими крабами. ■



Меланистические экземпляры короткопорого элассодиска и неопisanного карепрокта (внизу).

## Литература

1. Шмидт П.Ю. Рыбы Охотского моря. М., 1950.
2. Борец Л.А. Аннотированный список рыб дальневосточных морей. Владивосток, 2000.
3. Шейко Б.А., Федоров В.В. // Каталог позвоночных животных Камчатки и сопредельных морских акваторий. Петропавловск-Камчатский, 2000. С.7—69.
4. Mecklenburg C.W., Mecklenburg T.A., Thorsteinson L.K. Fishes of Alaska. Bethesda, Maryland, 2002.
5. Андрияшев А.П. // Труды ИО АН СССР. 1955. Т.12. С.340—344.
6. Токранов А.М. // Вопросы ихтиологии. 2000. Т.40. №3. С.347—352.
7. Орлов А.М., Путьж Д.Л. // Вопросы ихтиологии. 1996. Т.36. №6. С.821—826.
8. Токранов А.М. // Вопросы ихтиологии. 2000. Т.40. №4. С.530—536.
9. Расс Т.С. Замечательный случай биологической связи рыбы и краба // Природа. 1950. №7. С.68—69.
10. Parrish R.H. // California Fish and Game. 1972. V.58. №3. P.239—240.
11. Somerton D.A., Donaldson W. // U.S. Fishery Bulletin. 1998. V.96. №4. P.871—884.



Самки чернохвостого и курносого слизней, а также элассодиска — паразитов дальневосточных крабов.

# Синица синице рознь

В.И.Булавинцев,

кандидат биологических наук

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

Кто ж не знаком с синицами? Имя на слуху, сами на виду. Всю зиму даже в крупных городах у кормушек снуют. Весной во дворах, скверах и парках звенят. Правда, на виду да на слуху, пожалуй, только два вида: большая синица, самая крупная в группе, и лазоревка, одна из самых мелких не только среди своих собратьев по синичьему племени, но и российских птиц вообще. Меньше только королек, но тот уж совсем крошка.

О синицах многое можно бы рассказать, такие они разные. И не только внешне, у всех своя особая жизнь в природе. По современной систематике они относятся к певчим воробьиным и составляют три семейства: синицевых (Paridae) с подсемействами ремезов и собственно синиц, длиннохвостых синиц (Aegithaliidae) и суторовых (Paradoxornithidae), куда включают усатых синиц и сутор.

Ремезы очень своеобразны обликом и образом жизни. Закрытые гнезда-«рукавички» над водой устраивают — на концах тонких веток. Вроде и не лесные птицы вовсе. Уж если о ремезах рассказывать, так подробно и отдельно. Здесь речи о них не будет, как и о суторах, южных птицах, экзотических.

Подсемейство собственно синиц в мировой фауне многочисленно, примерно полсотни видов, да и у нас в России с десяток наберется, а с подвидами и того больше.

Самая обычная большая европейская синица (*Parus major*) — один из немногих видов группы больших синиц, у которого самец и самка легко различимы. У самцов, особенно старых (живут птицы в природе лет пять), темная полоса от черного горла продолжается на груди, уходит в подбрюшье и там разливается темным пятном, тем ярче и больше, чем старше птица. У самочки такая полоска тоньше, бледнее и теряется на животе.

Эту птицу все знают, она часто встречается в лесу и около человеческого жилья. Другое дело скрытая от непосвященных синичья жизнь. Ведь гнезда свои большая европейская синица прячет в дуплах, дуплянках, в щелях-нишах, под карнизами, в трубах-стойках оград, да мало ли где еще, только бы подальше от лишних глаз, и чтобы кошки с воронами не добрались. Оттого, видно, и неистребимо племя большой синицы в городах, где вороны крепко повывели птичью мелочь: щеглов, малиновок, зеленушек да зябликов, птах, гнездящихся открыто на земле, в кустах и кронах деревьев.

Еще снег кругом, весной чуть пахнет. Солнышко пригрело, ожила первая капель, а ей уже вторит звонким хрусталем весенняя синичья песня.

Из наших синиц большая менее всего привязана к гнездовой территории вне сезона размножения. Городские синицы, а теперь есть и такие, возможно, проводят зиму в своих родных дворах и парках, где их подкармливают горожане. Но те, что живут в лесу, на зиму улетают поужнее или переселяются ближе к человеческому жилью. Они и осенне-зимних запасов не делают, как другие синички, хотя чужими, при случае, не брезгают.

Прокормиться в городе или поселке большой синице проще, она не связана жестко с хвойными лесами, как хохлатая, московка или гаичка. Добывается любая живая мелочь, что в трещинах коры или на ветвях деревьев зимует. Семена трав и деревьев в пищу годятся, дойдет дело до ягод, и они не лишние. Станет совсем голодно, на крошках хлеба вместе с воробьями продержится. А уж если сердобольная душа кусочек сала за окном повесит или семечек насыплет, тут уж у синичек пир горой.

Долго птахи на одном месте не задерживаются. Постоянно перелетают стайкой от одной кормушки к другой, третьей, по-



Королек — птичка с сосновую иголку длиной.  
Фото автора



Самочка обыкновенной большой синицы.  
Фото автора



Кладка большой синицы. У других видов яички тоже крапчатые.  
Фото В.В.Забугина



Птенцы подросли, и в гнезде им тесновато.  
Фото В.В.Забугина



Лазоревка обыкновенная.

Здесь и далее фото автора



Московка — небольшая птичка, довольно редкая в городах.



Хохлатая синица. В городе ее не увидишь, да и в Подмосковье встретишь не часто.



Пухляк. Грубоватое название для такой птицы.

ка не вернутся к той, с которой начали. Так и крутится стайка по своему знакомому маршруту с утра до вечера. Но это зимой и в городе.

Летняя жизнь много хлопотнее. Продление рода дело не простое. Сначала нужно место выбрать с подходящими для гнезд дуплами, где пищи для будущего потомства вдоволь (в гнезде бывает по 9—13 белых в красноватых крапинках яиц). На каждую синичью семью нужен примерно гектар гнездовой площади. Тогда птенцы голодать не будут. А семьи у больших синиц не малые..

Родительские обязанности в паре строго распределены. Са-

мочка строит гнездо, очень теплое и уютное, насиживает пару недель яйца и греет первые несколько дней вылупившихся птенцов. Самец все это время заботится о ее пропитании. Подрастающим детям, к слову, очень прожорливым, корм оба родителя приносят — за день по 300—500 порций. После вылета птенцов отец семейства докармливает слетков еще дней десять, и на этом родительская опека заканчивается. Супруга кормильца времени даром не теряет: либо занимается восстановлением старого гнезда, либо делает новое. В старых гнездах птенцам второго выводка живется хуже, вдвое больше их

гибнет, чем в начале сезона размножения. Видимо, сказывается зараженность семейного очага различными паразитами.

Неприхотливы птицы из группы больших синиц в выборе корма и мест для размножения, потому и освоили огромные пространства от Атлантики до Тихого океана. На этих просторах обитают три вида: большая европейская синица, среднеазиатская, или бухарская (*P.bocharensis*), и дальневосточная, или малая (*P.minor*). Ну о подвигах и говорить не приходится, с ними впору разобрататься только орнитологу.

Из синичек малых многим, видимо, знакомы лазоревки. Уже

само название птицы настраивает на поэтический лад, и не напрасно. Внешность этой небольшой изящной птички, изысканность окраски нежного оперенья как нельзя лучше соответствуют ее имени. А вот что пишет об обыкновенной лазоревке (*P.caeruleus*) знаток певчих птиц Г.Н.Симкин: «Обыкновенная лазоревка сохранила свою ослепительную окраску и донесла до нас облик тех птиц, которые обитали на просторах древней лесной Евразии с ее могучими широколиственными лесами». И сейчас к ним явно тяготеет. В группе лазоревок различают три основных вида: обыкновенную, или европейскую, белую, или князьку (*P.cyanus*) и желтогрудую (*P.flavipectus*), обитающую в горах Тянь-Шаня и Памиро-Алая. Область распространения группы в долготном простирании почти такая же, как больших синиц.

Лазоревки тоже зимуют у человеческого жилья, но стаяк, как большие синицы, не образуют, держатся парами. В бойкости, несмотря на свою малость, им не уступают, бывает, что и от корма отгоняют.

Поведение лазоревок в гнездовое время в целом повторяет повадки больших синиц, но есть и отличия. Участок для выкармливания птенцов им нужен поменьше, всего-то 3—7 тыс. м<sup>2</sup>. Корм собирают птички на лиственных деревьях, особенно охотно в дубравах.

И лазоревки селятся в городах, но только с недавнего времени, последние лет двадцать. Для размещения гнезда им довольно даже пустотелого бетонного столба, если в нем есть небольшие технологические отверстия в 25—30 мм диаметром. Да и в природе предпочитают дупла со столь же малым лазом. Есть среди лазоревок и такие, что в трещинах скал и обрывов, даже в заброшенных норах гнездятся. Это уже упомянутая желтогрудая лазоревка. Однако и она заселяет дупла, если их хватает.



Хохлатая красавица.

Еще один уже названный вид, белая лазоревка, обитает в пойменных зарослях, часто, особенно по осени и зимой, — в заболоченных местах, заросших камышом и тростником, где кормится, ловко выщипывая личинок из стволиков этих растений.

Вид белая лазоревка образован тремя подвидами. Горный, или Тянь-шанский, обычен в тугаях Средней Азии, на Тибете, в Северной Монголии и на севере Китая. Второй подвид — южно-сибирский, или енисейский, — обитает в южных таежных лесах Сибири. Третий — европейский — распространен в Европе, но за пределы Восточной Прибалтики и Белоруссии не выходит.

В отличие от лазоревок и больших синиц, предпочитающих лиственные леса и заросли, московка (*P.ater*) кормится в кронах хвойных деревьев, чаще всего на концах ветвей. водится она в горных хвойных лесах Юго-Восточной Азии, на западном побережье Европы и на северо-западе Африки, в горах Атласа.

Есть московка и у нас, даже в крупных городах, если только имеются в парках куртины старых елей. Гнездится в дуплах, под корнями деревьев, в норах грызунов, а в горах — в трещинах скал. Москковка большая индивидуалистка, скопления избегает, потому и селится отдельными парами, прочными и постоянными даже зимой, на уча-





Длиннохвостая синица — пушистый шарик с хвостиком — на ветке и возле гнезда.



ствах в 4—6 тыс. м<sup>2</sup>. Любит запасать корм впрок.

Среди наших синиц есть одна особенная, небольшая птичка — хохлатая синица (*P. cristatus*). Она и внешне от своих сородичей отличается. Прежде всего, окраской и хохолком. Помню, отдал как-то в печать негативы с хохлатыми синицами, а приемщица, вручая фотографии, спрашивает: «А где вы таких попугайчиков снимали?» А ведь и действительно, с распушенными крыльями хохлатая синица на маленького попугайчика похожа. Короткие широкие крылья, хохлатая головка и довольно длинный хвост, чем не попугай? Правда, расцветкой в попугая не вышла, но и тут как посмотреть. В изыществе оперенья этой синичке не откажешь. Серовато-коричневое перо, чуть тронутое струйчатым муаром сверху, с черным рисунком на голове, грудке и хохолке, со светло-охристым подхвостьем — чем не щеголь?

Хохлатая синица, как и москковка, живет только в ельниках и сосняках (иногда встречается и в смешанных лесах, если в них преобладают хвойные породы). Гнезда начинает строить рано весной, раньше других синиц, в конце марта — начале апреля. И яичек откладывает меньше — всего-то 4—7 штук. Насиживает самочка 15—17 дней, а птенцы сидят в гнезде около трех недель, да и слетков докармливает хохлатая синица дольше, чем другие виды, около месяца.

Кормовой участок у этих птичек по крайней мере вдвое больше обычного для других мелких синиц: от 12 тыс. до 22 тыс. м<sup>2</sup>. Пары постоянны (в этом от других отличий нет), но вот складываются они рано, начиная с двухмесячного возраста. Хохлатая синица может гнездиться на одном и том же участке леса многие годы, случается, до девяти лет, а это, по синичьим меркам, целая вечность.

Пожалуй, самая разнообразная группа синиц — гаички. Среди них есть довольно теплолюбивые виды, например, черноголовая, или болотная, гаичка (*P. palustris*). Она обитает в поймах и заболоченных ольшаниках на юге Швеции и Норвегии, на Кавказе и в смешанных лесах Европы, а восточно-сибирский подвид распространен в предгорьях Алтая, в Саянах, на Сахалине и в Южном Китае.

Как и положено теплолюбивому виду, гнездится черноголовая гаичка с середины апреля до конца мая. Кладку из 6—10 яиц насиживает 13—15 дней. В гнезде птенцов родители кормят недолго, меньше 20 дней, и слетков еще с неделю, а вот пищу приносят часто, каждые две-три минуты. Самостоятельными птенцы становятся рано, уже в начале июля. Подобно другим синицам, не считая большой, гаички заготавливают корм впрок, склеивая комочки пищи слюной.

Из теплолюбивых сородичей стоит упомянуть о средиземноморском реликтовом виде гаички (*P. lugubris*) из субтропических лесов Апеннинского п-ова (его северной части), Балканского п-ова, Малой Азии, Ирана и Закавказья. Это одна из самых древних и редких гаичек Южной Европы и Передней Азии. О древности птички свидетельствует ее привязанность к реликтовым гирканским лесам.

Типично таежные виды могут жить и в более северных областях. Так, буроголовая гаичка, или пухляк (*P. montanus*), населяет смешанные леса Бразилии и Северной Америки. Кроме того, гнездится в горных районах Центральной Азии и Тибета.

Птицы эти ведут оседлый образ жизни, очень привязаны к своим брачным партнерам. Делают запасы кормов, особенно активно — в конце лета и осенью. Гнезда выщипывают, как и многие другие синицы, в трухлявых подгнивающих пнях невысоко над землей и выстилают мхом и шерстью. Впрочем, пухляк может откладывать яйца прямо на древесную труху, без подстилки. Как и у других низко гнездящихся синиц, хохлатых и москочков, гнезда пухляка часто разоряются (по мнению орнитологов, каждое четвертое) большим пестрым дятлом.

В осенне-зимнее время пухляк потребляет растительные корма, ягоды и семена, в том числе и травянистых растений. При всей своей «таежности», пухляк, однако, не самая морозоустойчивая из наших синиц. Пальма первенства по этому признаку, несомненно, принадлежит сероголовой гаичке (*P. cinctus*), обитательнице северных таежных лесов Скандинавии, нашей страны и северной части Аляски, где у нее имеется ближайшая родственница — гуд-



Усатая синица, обитательница тростниковых зарослей. Южная птичка.

зонская гаичка, вид обычный для Северной Америки.

Суровость климата в местах обитания сероголовой гаички не позволяет гнездиться ранее мая, птенцы же появляются только с середины июня по начало июля. Прочие жизненные привычки такие же, как у пухляка.

Как уже говорилось, одно из семейств составляют длиннохвостые синицы, из которых в Европе встречается единственный вид с тем же названием, что и у семейства, т.е. длиннохвостая синица (*Aegithalos caudatus*). Это нежное создание розовато-коричневого цвета с длинным ступенчатым хвостиком и круглой пушистой головкой, с черными бисеринками глаз обитает в Европе и Азии, у нас — от западных границ до Камчатки, к югу от 60°с.ш. Шустра птичка необычайно, на месте не задерживается ни на миг. Одинаково уверенно чувствует себя в любом положении, вверх ли головой, вниз ли. Особенно у длиннохвостой синицы и гнезда. Это не дупла, а искусно

сотканное из растительных волокон и прочего подручного материала, наличного в лесу, закрытые серые мешочки с небольшим лазом-дырочкой сверху. Снаружи гнездо «инкрустировано» кусочками лишайников и мхов, маскирующих его под фактуру замшелых развилки ветвей и стволов ивы, березы или ольхи, на коих гнезда и устраиваются, иногда на высоте более 10 м. Но это только если птиц часто беспокоят, а обычно располагаются много ниже, в трех—пяти метрах над землей.

Пары у длиннохвостой синицы прочные, отношения в семье нежные, как и сами хрупкие птицы. Гнезда они строят с середины апреля, а в начале мая в них уже 8—10 яиц. Насиживает кладку — около двух недель — преимущественно самочка. Птенцы в гнездах не задерживаются, 15—16 дней от роду уже могут сносно летать. Впоследствии родители докармливают выводок первую неделю около гнезда. В конце июня — начале июля семейные группы покидают гнездовые участки и пускаются в летние миграции. Кормится длиннохвостая синица как на лиственных деревьях, так и на хвойных, осенью и зимой — на сухом высокотравье, выискивая кладки яиц и личинок насекомых. Любит держаться на заболоченных опушках и полянах, поросших ивами и ольхой.

Вот и все, если коротко, о синицах. Остается только добавить, что живут они бок о бок, в чем-то похожие и все же такие разные. Так в природе устроено. Каждому места ровно столько, сколько для прокорма себя и потомства потребно.

Вот бы нам, людям, так. Каждому по разумной надобности для себя и детей, без диких излишеств, а голубая планета, как лес для синиц, — всем вместе. ■

# Нефть Мезенского бассейна: иллюзия или надежда?

С.В.Аплонов, Б.А.Лебедев, Н.В.Тимошенкова

**М**езенский осадочный бассейн (его часто называют Мезенской синеклизой) расположен в северо-восточной части Русской платформы, между Балтийским щитом и Тиманским кряжем. Его площадь — около 300 тыс. км<sup>2</sup>, а объем осадочного выполнения — более 1 млн км<sup>3</sup>.

Геологи, основываясь на этих формальных благоприятных признаках, за последние полвека трижды начинали искать здесь нефть. В 1950-е годы были выполнены первые региональные геофизические работы, результатом которых как раз и стало обнаружение крупной самостоятельной депрессии фундамента на севере европейской части России. В 1970-е годы, наряду с геофизическими исследованиями, были пробурены 32 поисковых скважины, из них 16 — с глубиной от 2 до 4 км. Благодаря данным бурения и сейсморазведки удалось установить, что из суммарного объема осадочного чехла на фанерозойские отложения (с возрастом моложе 540 млн лет) приходится меньше четверти, а основную часть разреза составляют мощные древние толщи рифея и венда, которые и стали считать перспективными для поисков нефти и газа. К сожалению,



**Сергей Витальевич Аплонов**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им.П.П.Ширинова РАН, заведующий кафедрой геофизики Санкт-Петербургского государственного университета, директор Центра геодинамических исследований «Тетис». Специалист в области региональной геофизики и геодинамики. Член редколлегии «Природы».



**Борис Андреевич Лебедев**, доктор геолого-минералогических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета, ведущий геолог Центра геодинамических исследований «Тетис». Основные научные интересы связаны с геологией нефтегазоносных осадочных бассейнов.



**Наталья Васильевна Тимошенкова**, кандидат геолого-минералогических наук, геолог Центра геодинамических исследований «Тетис». Область научных интересов — нефтяная литология.

© Аплонов С.В., Лебедев Б.А., Тимошенкова Н.В., 2004

в те годы в Мезенском бассейне так и не было обнаружено не только промышленных залежей углеводородов, но даже ни единого достоверного нефтегазопроявления. К началу 1980-х годов работы были свернуты.

Современный этап поиска нефти и газа, начавшийся в 1998 г., имеет несколько отличительных особенностей. Прежде всего, работы велись не только и не столько на бюджетные деньги. К их финансированию удалось привлечь несколько крупных отечественных компаний-недропользователей (ОАО «Газпром», «ЛУКОЙЛ», «Татнефть», «Роснефть», «Сургутнефтегаз»), объединившихся в действующий до настоящего времени Альянс по региональному изучению Мезенской синеклизы. Координируют деятельность Альянса администрация Архангельской обл. и Главное управление Минприроды РФ по Архангельской обл. Кроме того, существенно выросший к концу 1990-х годов технический уровень геолого-геофизических исследований позволил получить уникальную информацию, не идущую ни в какое сравнение с имевшейся на ранних этапах изучения. Наконец, с самого начала обеспечивалось полноценное научное сопровождение — к оперативному анализу уникальных материалов привлекались компактные независимые группы тектонистов, стратиграфов, палеонтологов, геофизиков и геохимиков. С 1998 г. по заказу Альянса здесь работает и Центр геодинамических исследований «Тетис», в задачу которого входит углубленный комплексный анализ всех имеющихся материалов и их сравнение с данными по другим аналогичным бассейнам, а также выбор перспективных объектов, где впоследствии будут производиться нефтегазопроисковые работы.

Сегодня, когда региональные исследования близки к завершению, мы впервые имеем возможность рассказать о наиболее существенных результатах, с од-

ной стороны, в корне меняющих представления о геологическом строении Мезенского бассейна, а с другой, как нам представляется, резко повышающих перспективы его нефтегазоносности. Ответственность велика — как мы помним, поиски нефти здесь неоднократно сворачивались на полпути, а будущие работы, которые нефтяные компании планируют начать с 2004 г., должны решить: имеет ли смысл и дальше тратить средства на попытки обнаружения промышленных залежей в этом регионе? Кроме того, полезно учитывать, что Мезенская синеклизы — пожалуй, последняя из крупных территорий в пределах российской суши, которая может стать новой нефтегазоносной провинцией.

### Возможно нефтегазоносные бассейны мира

Справедливости ради надо сказать, что Мезенский бассейн — не единственный, где проведенные в разные годы нефтегазопроисковые работы не увенчались успехом. На разных континентах мира существует более 20 осадочных бассейнов примерно таких же размеров, относимых к категории возможно нефтегазоносных. Больше всего их в Африке и Северной Америке. Все они изучались примерно по одному сценарию: по нескольким профилям проводилась сейсморазведка (ведущий геофизический метод для изучения структуры осадочного чехла), затем бурились единичные поисковые скважины на выявленных антиклиналях (крупных куполообразных складках чехла), которые, согласно канонам классической нефтяной геологии, наиболее перспективны на скопления углеводородов, всплывающих в проницаемой среде и заполняющих сводовые части складок. Если скважины оказывались сухими, или в них получали непромышленные

нефтегазопроявления, бассейн переводился в категорию возможно нефтегазоносных, а его изучение откладывалось до лучших времен.

Анализ материалов по всем возможно нефтегазоносным бассейнам мира привел нас к неожиданному выводу: применявшиеся до сих пор подходы не могли привести к открытию в них месторождений даже случайно. Причину можно сформулировать в виде общей закономерности: чем беднее осадочный бассейн, тем меньше в нем выражена связь залежей с антиклиналями.

Как известно любому нефтянику, для формирования месторождений нефти и газа необходимы три условия: во-первых, нужны материнские породы, обогащенные органикой, которые продуцируют углеводороды; во-вторых, нужны проницаемые (пористые или трещиноватые) породы-коллекторы, где нефть и газ аккумулируются, и, наконец, в-третьих, нужны флюидоупоры (покрышки) — относительно непроницаемые породы, обеспечивающие длительную изоляцию углеводородных систем.

Специфика возможно нефтегазоносных бассейнов состоит в том, что им свойственно длительное прерывистое развитие. Стадии погружения и накопления осадков сменяются воздыманиями и размытиями, когда образовавшиеся ранее скопления углеводородов рассеиваются. Как итог, именно на антиклинальных структурах возможно нефтегазоносных бассейнов в наибольшей степени нарушается главное условие нефтегазоносности — изоляция разреза флюидоупорами. Таким образом, вероятность встретить промышленную залежь, «подтягивая» поисковые скважины к антиклиналям, оказывается даже более низкой, чем если бы скважины размещались случайно.

На что же остается рассчитывать? На так называемые нетрадиционные (или запечатан-

ные) залежи, которые экранированы слабо проницаемыми породами не только сверху, но и по площади, и перемещены с антиклиналей в смежные впадины, где условия для сохранения флюидоупоров от размыва лучше. Кстати, с подобными месторождениями мы постоянно сталкиваемся в глубоких частях даже таких богатых бассейнов, как Западно-Сибирский или Тимано-Печорский [1]. Освоение их всегда начиналось с простых антиклинальных объектов, а уже позднее, когда накапливались фактические данные о строении и составе глубокозалегающих толщ, перешли к поискам сложных нетрадиционных залежей. В возможно нефтегазоносных бассейнах мы по существу сразу сталкиваемся с нетрадиционными объектами, минуя простой антиклинальный этап освоения. Из-за этого трудности многократно возрастают, поскольку подобные бассейны плохо изучены и фактических данных, обязательных для оконтуривания неантиклинальных залежей, оказывается недостаточно. Остается уповать на теорию, поиск дальних аналогий и количественные расчеты (чем как раз и занимается геодинамический анализ).

Внутри рассматриваемой проблемы у Мезенского возможно нефтегазоносного бассейна есть дополнительная особенность — его древний возраст. Мы уже отмечали, что перспективными в нем считаются рифейские толщи с возрастом около 1 млрд лет (и даже более). Хотя в нефтяной геологии действует общее правило — чем моложе бассейн, тем он богаче, нельзя сказать, что рифейские нефть и газ представляются уж вовсе необычными. Напротив, рифейские отложения продуктивны во многих бассейнах мира. В нашей стране удачными оказались поиски в Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции, где открыты уникальные месторождения Юрубчено-Тохомской зоны. Промышленные залежи нефти

и газа в рифейских отложениях (пусть и с гораздо меньшими запасами) установлены также в Китае, Австралии и Северной Африке. Но дело в том, что все пока выявленные залежи экранируются не столько собственно рифейскими покровками, сколько, главным образом, более молодыми верхневендско-кембрийскими региональными флюидоупорами, которые вдобавок обычно насыщены эвапоритами (солями), еще более улучшающими их изолирующие свойства. Например, особое богатство Лено-Тунгусского бассейна объясняется громадной площадью распространения нижнекембрийских солей — почти 1.5 млн км<sup>2</sup>.

Есть еще одно важное обстоятельство. Большой эмпирический материал показывает, что в рифейских отложениях промышленные залежи углеводородов приурочены только к карбонатным породам. Среди более молодых толщ терригенные и карбонатные породы характеризуются сопоставимой продуктивностью.

Как сказано выше, для Мезенского бассейна мощные рифейские пласты в основании осадочного чехла считаются сегодня главными, а весьма возможно, и единственными потенциально нефтегазоносными. Однако в противовес бассейнам с уже доказанной рифейской нефтегазоносностью, в Мезенском вендско-нижнепалеозойские региональные флюидоупоры отсутствуют. Следовательно, нефтегазоносность Мезенской синеклизы, если она существует, должна определяться лишь свойствами самих рифейских отложений.

### Что нужно для продуктивности Мезенского бассейна?

Проведенное нами ранее обобщение фактических данных по всем фанерозойским бассейнам мира [2] продемонстрировало функциональную связь наличия в разрезах оса-

дочного чехла региональных флюидоупоров (как следствие, и богатой нефтегазоносности) с гармоничным развитием бассейнов. Гармоничным называется развитие осадочного бассейна в соответствии с глобальной цикличностью седиментации. Оно приводит к последовательному накоплению следующих формационных рядов: терригенного грубообломочного в нижних частях и угленосного — в верхних, отвечающих стадии суши; песчано-глинистого или карбонатно-глинистого, отвечающего стадии трансгрессии; преимущественно песчаного или карбонатного, отвечающего стадии эпиконтинентальных морей, и глинистого, иногда с эвапоритами, отвечающего стадии регрессии. Суммарная продолжительность полного цикла гармоничного развития — чуть более 200 млн лет.

Если же развитие осадочного бассейна не подчиняется глобальной цикличности седиментации, а обуславливается региональными факторами, то такое развитие называется дисгармоничным.

Нефтегеологическое значение гармоничного развития состоит в том, что на первой из четырех перечисленных стадий трансгрессивно-регрессивных циклов накапливаются нефтематеринские породы, на второй и третьей — породы-коллекторы (терригенные или карбонатные), а на четвертой (и это — главное) — региональные флюидоупоры, обеспечивающие длительную изоляцию углеводородных систем. Именно поэтому около 95% мировых запасов нефти и газа сосредоточено в гармоничных бассейнах среднего-позднего палеозоя (15%) и мезозоя-кайнозоя (80%).

Условием же гармоничного развития осадочного бассейна является его заложение над областью мощного рифтинга (раскола континентальной литосферы), на окраине сформировавшегося незадолго перед этим суперконтинента. С позиций со-

временной геодинамики, образованию суперконтинентов в истории Земли соответствуют фазы *диастрофизма*, главные и второстепенные: причем чем больше суперконтинент (точнее, чем большее число континентов столкнулось при его формировании), тем мощнее фаза диастрофизма.

Проще говоря, для возникновения богатого нефтегазонасного бассейна необходимо следующее стечение обстоятельств. Нужно, чтобы образовался суперконтинент и по его окраинам начался рифтинг. В этом случае над областью рифтинга (или вблизи от нее) имеет место гармоничное развитие осадочного бассейна, следствием которого как раз и будет накопление нефтематеринских пород, пород-коллекторов, а главное — региональных флюидоупоров, обеспечивающих длительную изоляцию углеводородных систем. Например, Западно-Сибирская провинция так богата нефтью и газом именно потому, что для нее перечисленные выше условия выполнялись в чистом виде. Бассейн заложился сразу после глобальной герцинской фазы диастрофизма (проходившего в конце палеозоя, около 260 млн лет назад) на краю образовавшегося гигантского суперконтинента Пангеи, над областью интенсивного триасового рифтинга, дошедшего даже до стадии краткого (в интервале 235—215 млн лет) спрединга [3]. В упомянутой выше Лено-Тунгусской провинции уникальный нижнекембрийский соленосный флюидоупор, без которого не было бы промышленной нефтегазонасности рифея, также накопился в условиях гармоничного развития.

На Русской платформе венд и ранний палеозой, напротив, повсюду дисгармоничны. Это значит, что в Мезенском бассейне залежи нефти и газа могут быть обнаружены только в том случае, если гармоничное развитие (и, как следствие, наличие



Схематическая реконструкция гренвилевского суперконтинента Родиния [4, с добавлениями].

региональных флюидоупоров) удастся доказать для самих рифейских отложений.

Рифей имеет продолжительность около 1 млрд лет (почти четверть всей геологической истории Земли и почти вдвое больше, чем продолжительность всего фанерозоя, включающего палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую эры!) и разделяется на ранний (1650—1350), средний (1350—1050) и поздний (1050—670 млн лет). В этом огромном временном интервале проявилась лишь одна глобальная фаза диастрофизма — гренвилевская, по современным данным, — 1100±50 млн лет назад, когда на Земле сформировался суперконтинент Родиния [4]. Ранее в качестве уверенно документирован-

ной области гренвилевских столкновений континентов приводился лишь Гренвилевский складчатый фронт на юго-востоке Канады (от которого, кстати, данная фаза диастрофизма и получила свое название). Лишь в последние 10—15 лет гренвилевиды стали систематически определять в Арктике: на Шпицбергене, Аляске, Таймыре, Новой Земле и Полярном Урале. Отсюда возникло предположение, что их так мало на Земле потому, что они составляют фундамент почти неизученной северной полярной области. Гипотетический континент, сформировавшийся в процессе гренвилевских столкновений, а впоследствии расколотый на части, Л.П.Зоненшайн назвал Арктидой, еще раньше Н.С.Шат-

ский — Гиперборейской платформой.

Сейчас гренвиллиды беспорядочно разбросаны по разным материкам. Но если сложить континенты в гренвилльскую Родинию, то можно увидеть единый пояс гренвилльских столкновений с максимумом в районе гипотетической Арктиды, а вокруг — области позднерифейского гармоничного развития, в некоторых из них уже доказана промышленная нефтегазонасность, — Восточную Сибирь, Северную Австралию и северо-запад Африки. Если эта реконструкция верна, то вполне можно ожидать, что и на севере Восточной Европы (континента Балтики) в позднем рифее также происходило гармоничное развитие. Это предположение (в случае подтверждения) резко повышает перспективы расположенного здесь Мезенского бассейна.

Какие следы оставила позднерифейская гармония на севере Восточной Европы? О рифее самого Мезенского бассейна до последнего времени почти ничего не было известно. Однако нам удалось установить, что на смежных территориях (на побережье Кольского п-ова, в некоторых районах Тиманского кряжа, в пределах складчатых областей Пай-Хоя и Урала, а также в нижней части чехла севера Волго-Уральской области) есть достаточно полные разрезы верхнего рифея, которые бесспорно относятся к гармоничным.

В 2001 г. в северной части Мезенского бассейна ОАО «Архангельскгеолдобыча» закончило бурение Средне-Няфтинской поисково-параметрической скважины глубиной более 4200 м. Скважина прошла весь верхний рифей и была остановлена в отложениях среднего рифея. В ней впервые на высоком уровне были проведены каротажные, петрофизические и петрографические исследования. Детальный анализ этих материалов позволил нам сделать однозначный

вывод: в составе мезенского рифея есть мощные толщи гармоничных сероцветных отложений. Принципиально важно, что внутри них были обнаружены маломощные карбонатные пачки. Мы уже говорили, что во всех бассейнах мира промышленные рифейские залежи нефти размещаются в карбонатных коллекторах. Конечно, карбонатные породы, которые вскрыла Средне-Няфтинская скважина, еще не коллекторы, но их прообразы. Мы предположили, что в восточной и юго-восточной частях Мезенского бассейна доля карбонатных пород в разрезе верхнего рифея должна увеличиваться. И это предположение подтвердилось. В 2002 г. в Вычегодской впадине (на юго-востоке Мезенской синеклизы) была пробурена еще одна глубокая скважина — Кельтменская. Она вскрыла более 2 км (!) верхнерифейских карбонатных пород с обильными органогенными постройками.

Но ни Средне-Няфтинская, ни Кельтменская скважины не решили поисковых задач. Обе по инерции были вновь поставлены на антиклиналях, где верхняя часть рифея оказалась размытой. В итоге в них не было получено не только промышленных притоков углеводородов, но и достоверных нефтепроявлений. Однако обе скважины дали неоценимый параметрический материал. Они позволили доказать гармоничность развития (и, следовательно, потенциальную продуктивность) Мезенского бассейна, а также получить первые представления об особенностях будущих поисковых объектов.

### От резкого скептицизма к умеренному оптимизму

Таким образом, всего за четыре года изучения Мезенского бассейна мы получили целую серию доводов в пользу его по-

тенциальной перспективности на обнаружение промышленных залежей нефти и газа.

Прежде всего мы узнали, что в составе мезенского рифея есть гармоничные отложения, включающие мощные карбонатные толщи. Ранее считалось, что глубокие прогибы в основании Мезенского бассейна есть не что иное, как апофизы рифейских авлакогенов (древних рифтов) Русской платформы, нижняя часть чехла которых обычно представлена грубообломочными терригенными осадками, иногда довольно мощными, но совершенно неинтересными в плане нефтегазонасности. Но возраст авлакогенов Русской платформы раннерифейский, и теперь мы понимаем, что их образование, скорее всего, не имеет никакого отношения к предполагаемой нефтегазонасности Мезенского бассейна. Гармоничное развитие происходило в нем гораздо позже, в среднем-позднем рифее, и распространялось оно со стороны гренвилльской Арктиды. Так что Мезенский авлакоген, действительно расположенный в основании одноименного осадочного бассейна, в лучшем случае был проводником, но никак не источником позднерифейской гармонии.

Кроме того, в составе рифейских сероцветных толщ, вскрытых Средне-Няфтинской скважиной, группой исследователей под руководством В.И.Горбачева (НПЦ «Недра», г.Ярославль) установлены породы, обогащенные органикой. Так что вполне реально говорить о наличии в составе мезенского рифея нефтематеринских формаций.

Итак, из знаменитой нефтяной триады — материнские породы, коллекторы, флюидоупоры — наличие двух первых членов можно считать доказанным. Однако самым уязвимым местом по-прежнему остаются флюидоупоры. Они пока не обнаружены, а если их нет, то все остальные положительные критерии окажутся, увы, ненужными.

Прогибание и накопление гармоничных отложений в Мезенском бассейне сопровождалось (как и по всему северу Русской платформы) региональными поднятиями и размывами, особенно интенсивными в раннем венде (около 600 млн лет назад). Интенсивные размывы губительны для богатой нефтегазоносности, они приводят к нарушению сплошности флюидоупоров, рассеянию углеводородов и переотложению осадков.

Несомненное достижение нынешнего этапа изучения Мезенского бассейна — отчетливое понимание, почему поисковые работы прошлых лет в принципе не имели шансов на успех. Как уже упоминалось, поисковые работы во всех будущих нефтегазоносных провинциях начинались с разбуривания антиклиналей, и Мезенский бассейн не исключение. Ни одной из скважин, пробуренных в нем, не вскрыты породы рифея, изолированные надежным верхнерифейским флюидоупором.

Ключевой ошибкой, видимо, было неправильное понимание стратиграфической приуроченности залежей. Дело в том, что в самой верхней части рифея повсеместно распространены кварцевые песчаники, превосходно окатанные и обладающие очень неплохими коллекторскими свойствами (ранее они относились к уфтыгской свите, а теперь выделены М.Б.Бурзиным в отдельную тамецкую свиту). Сверху на них налегают преимущественно глинистые толщи венда (как казалось, потенциальные флюидоупоры), что и послужило в свое время основой для поискового бурения на антиклиналях.

Однако сейчас доказано, что песчаники уфтыгской свиты формировались, в результате интенсивных поднятий и размывов, сопровождавшихся многократным переотложением обломочного материала (потому, собственно, эти породы и обла-

дают высокой пористостью). Песчаные пачки уфтыгской свиты мощностью 100—400 м — свидетельства размыва нижележащих верхнерифейских флюидоупоров и, значит, рассеяния углеводородов, а отнюдь не их аккумуляции. Естественно, что в свое время отсутствие даже следов нефти и газа в уфтыгских песчаниках породило скептицизм большинства геологов по отношению к Мезенскому бассейну в целом.

Сейчас же, с учетом новых данных, а также накопленного отрицательного опыта, главная нефтепоисковая задача формулируется предельно четко: нужно искать такие области, где наиболее вероятна сохранность от размыва верхнерифейских продуктивных разрезов, обязательно с верхнерифейскими же флюидоупорами.

## Направления нефтепоисковых работ

Ранее считалось, что суммарная мощность осадочного чехла Мезенского бассейна не превышает 4,5—5 км, из которых на интересующие нефтяников рифейские толщи приходилась примерно половина, около 2,5—3 км. Такой вывод делался на основе сейсморазведочных работ, выполненных еще в 1970-е годы.

Современная высокотехнологичная сейсморазведка, начатая в 1999 г. предприятием «Спецгеофизика» и пока пройденная лишь по нескольким региональным профилям в западной части бассейна, дала неожиданные и весьма обнадеживающие результаты. Оказалось, что в глубоких прогибах фундамент погружен до 8—9 км. При этом суммарная мощность осадочного чехла наращивается именно за счет нижнего, рифейского комплекса.

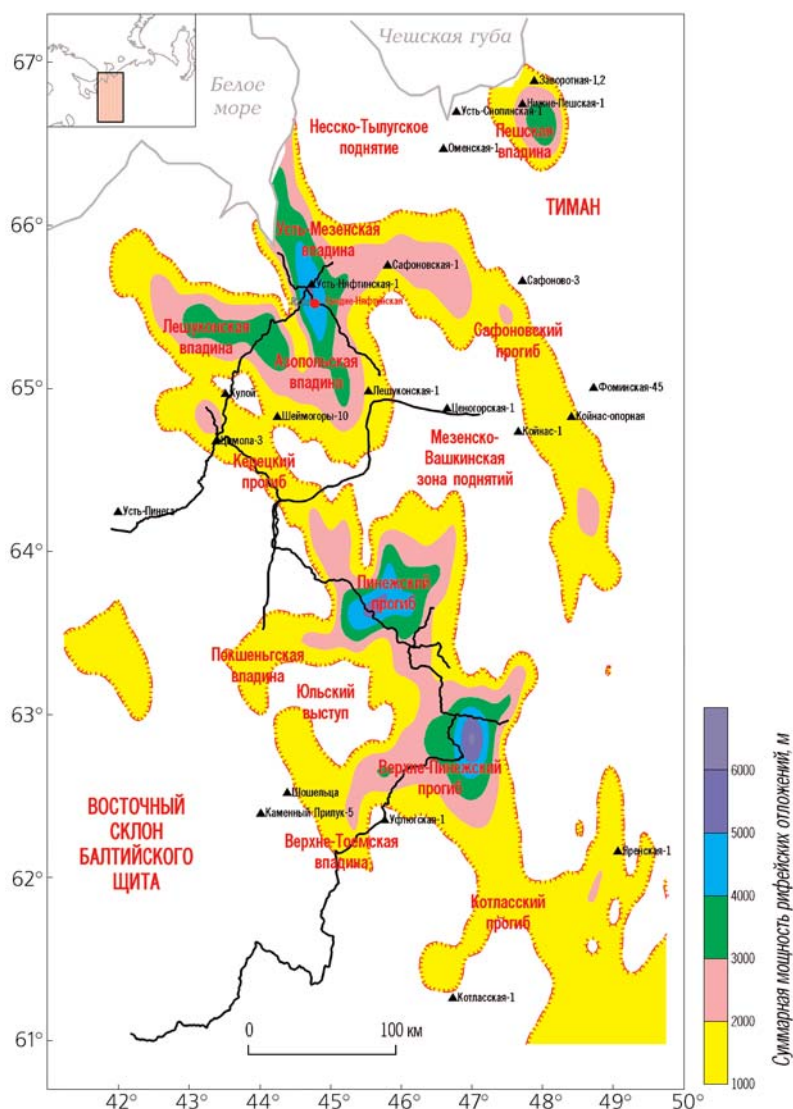
Поскольку имеющихся пока сейсморазведочных данных не хватает для уверенных площадных построений, мы выполнили

компьютерный прогноз оценки мощности рифейских отложений для всего Мезенского бассейна, используя также данные гравиразведки и магниторазведки. Как видно на схеме, в основании бассейна выделяются два главных прогиба северо-западного простирания — Пинежско-Лешуконский на западе и Сафоновский на востоке, которые разделены Мезенско-Вашкинской зоной поднятий. На севере оба прогиба сливаются в районе Усть-Мезенской впадины. Пинежско-Лешуконский прогиб глубже — в отдельных его частях мощность рифейских отложений достигает 5—6 км, в то время как в Сафоновском прогибе она не превышает 2—3 км (правда, к последним цифрам нужно относиться с осторожностью; возможно, после проведения здесь сейсморазведки мощность рифея окажется больше, хотя в целом выявленная тенденция, скорее всего, сохранится).

Несомненно, увеличение суммарной мощности осадочного чехла и особенно его нижней, рифейской части — важный аргумент в пользу перспектив нефтегазоносности этого региона. Но и тут обольщаться не следует, поскольку в таком сложном бассейне примитивный постулат «много осадков — много нефти» не работает. Как уже отмечалось выше, нас интересует не весь рифей, а только его гармоничная верхняя часть, наведенная на Мезенский бассейн после гринвильской фазы диастрофизма.

Применяя геодинамический анализ, мы попытались охарактеризовать разрезы западных и восточных прогибов Мезенского бассейна, опираясь при этом на данные по Средне-Няфтинской (Азопольский р-н) и Кельтменской (Сереговский р-н) скважинам. Вертикальный масштаб колонок, приведенных на рисунке, соответствует времени литологических событий. Серым цветом показаны гармоничные (потенциально продук-





Схематическая карта мощности рифейских отложений Мезенского осадочного бассейна.

Черные треугольники — буровые скважины; красный кружок — Средне-Няфтинская скважина; черные линии — профили региональной сейсморазведки, выполненной в 1999—2003 гг. предприятием «Спецгеофизика».

тивные) отложения, розовым — дисгармоничные, накопившиеся в процессе размыва и переотложения осадков, пустые места на колонках соответствуют времени перерывов осадконакопления. Пунктиром показаны части гармоничных разрезов, впоследствии размываемые.

В правой части рисунка приведена колонка, изображающая

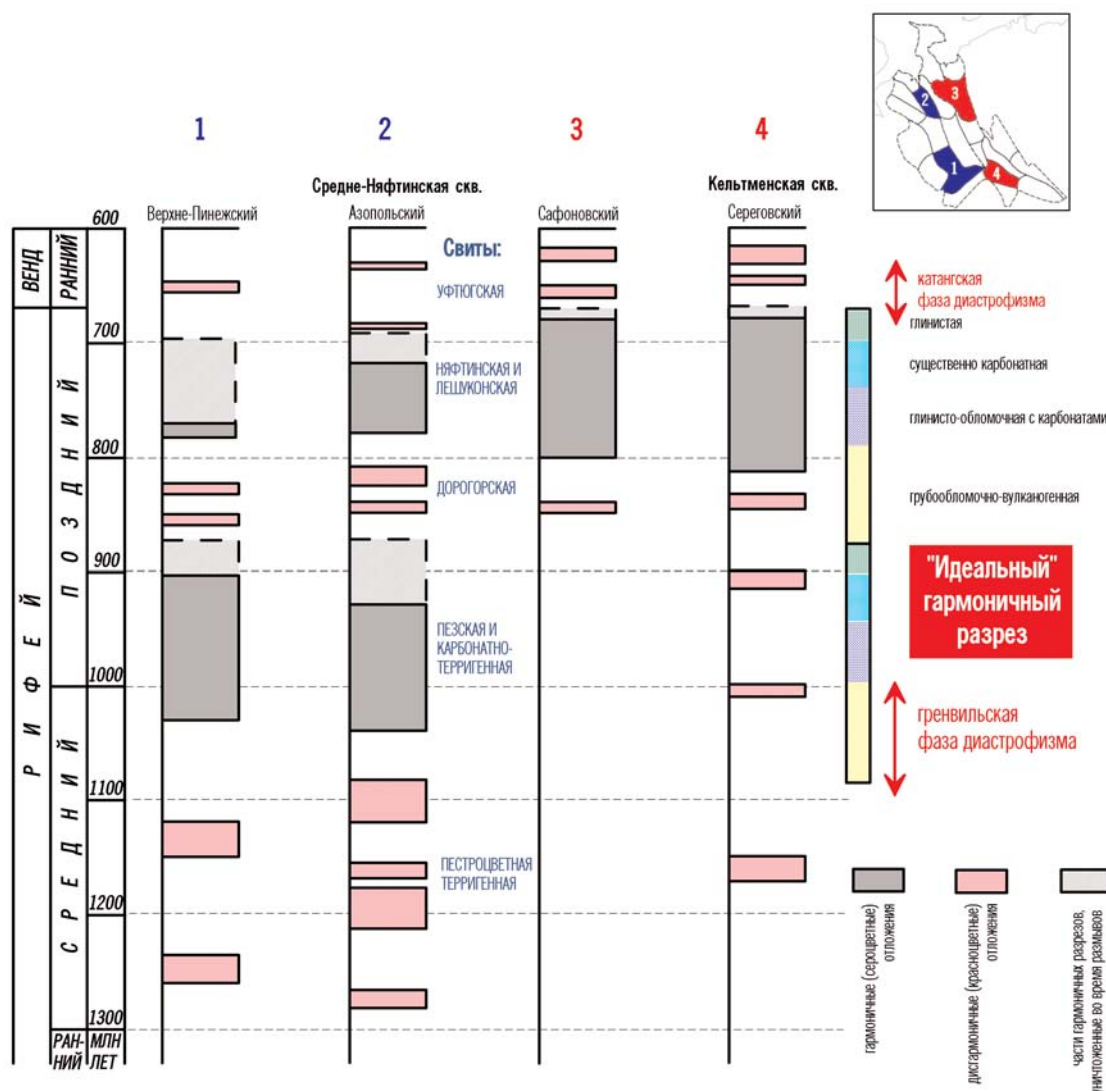
идеальное гармоничное развитие в течение двух постгренвильских циклов: средне-позднерифейского (нижнего) и поздне-нижнерифейского (верхнего). Разумеется, такого идеального разреза рифея нигде в Мезенском бассейне нет. Он мог бы появиться при непрерывном прогибании и гармоничном развитии бассейна в течение

400 млн лет, что невероятно. Идеальная колонка приведена, чтобы показать смену состава осадочных пород по разрезу при гармоничном развитии. В каждом из двух циклов снизу вверх сначала идет грубообломочно-вулканогенная толща, далее — глинисто-обломочная с карбонатами, затем — существенно карбонатная (она, по нашим представлениям, должна вмещать основные коллекторы нефти и газа) и, наконец, глинистая, служащая региональным флюидоупором.

Мы видим, что в Азопольском р-не (колонка 2) отложения верхнего и нижнего циклов существенно размывы. Пробуренная здесь Средне-Няфтинская скважина, как отмечалось, не обнаружила ни коллекторов, ни покрышек, но зато вскрыла прослой карбонатов в верхней и нижней рифейских сероцветных толщах, а в самой нижней части вошла в пестроцветную терригенную толщу, по-видимому, представляющую собой комплекс заполнения древних рифтов, типичный для всех авлакогенов Русской платформы.

В Верхне-Пинежском р-не (колонка 1) сохранность отложений верхнего цикла еще хуже. Здесь они почти полностью размывы. Несколько лучше условия для сохранности отложений в нижнем цикле, но и в нем верхняя глинистая толща, отвечающая флюидоупору, скорее всего, также размыва.

Совсем иная ситуация в восточных районах (колонки 3 и 4). Здесь суммарная мощность рифея меньше, но зато он представлен только верхним отделом. Поэтому в притиманских прогибах можно ожидать не только сохранившуюся от размыва карбонатную толщу (это можно считать доказанным, поскольку именно по ней более 2000 м прошла Кельтменская скважина), но и, весьма вероятно, часть верхней глинистой толщи, представляющей реликты верхнерифейского флюидоупора.

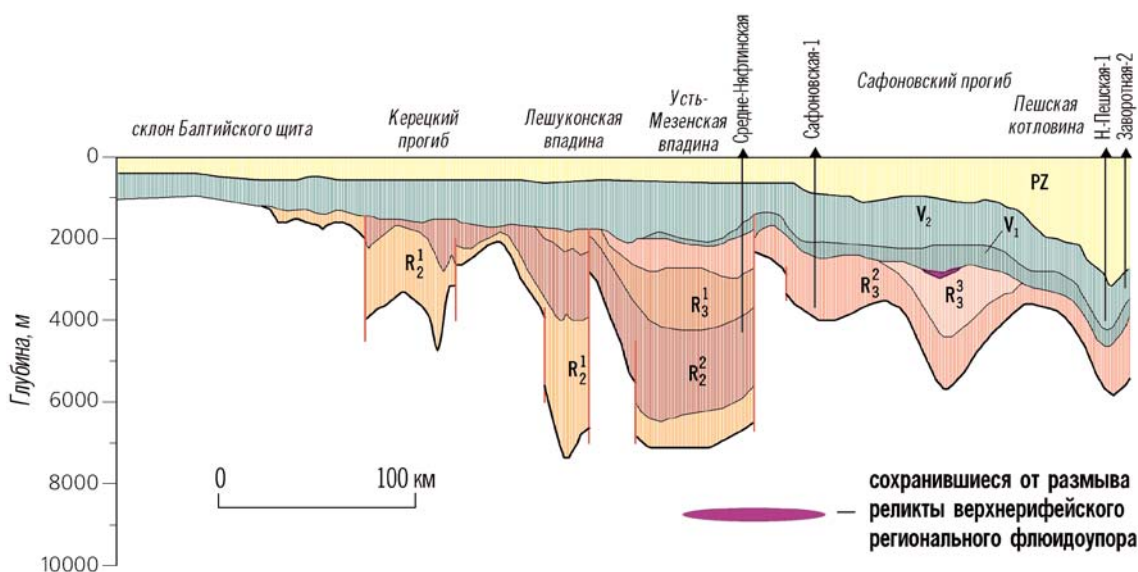


Колонки, показывающие различную сохранность докембрийских продуктивных разрезов в западных (1 и 2) и восточных (3 и 4) прогибах Мезенского бассейна. Пояснения в тексте.

Таким образом, западные и восточные прогибы Мезенского бассейна с нефтегеологической точки зрения различаются принципиально. Это хорошо видно на составленном разрезе северных районов бассейна. В западной части разрез опирается на уже имеющиеся данные сейсморазведки и бурения Средне-Няфтинской скважины, в восточной — он целиком проектный. В Лешуконской и Усть-Мезенской впадинах огромная мощность рифея, скорее всего,

объясняется наращиванием грубообломочного терригенного материала, известного во всех авлакогенах Русской платформы, но малоперспективного с точки зрения нефтегазоносности. Гораздо более перспективные гармоничные отложения верхнего рифея здесь существенно размывы. В Сафоновском прогибе, напротив, предполагается более высокая сохранность именно верхнерифейского продуктивного разреза, с реликтами верхнерифейского флюидоупора.

Из приведенных построений очевидно, что направления будущих нефтепоисковых работ нужно смещать в восточную (притиманскую) часть бассейна. Здесь нефтяным компаниям предстоит проводить детальную сейсморазведку, искать в разрезе верхнерифейских отложений сейсмические реперы, отвечающие реликтам флюидоупора, а под ним — органогенные постройки, в пределах которых и должны выделяться объекты для нефтепоискового бурения.



Разрез северной части Мезенского бассейна, показывающий возможность сохранения реликтов верхнерифейского регионального флюидоупора в Сафоновском прогибе (восточная часть бассейна). Стрелками показаны буровые скважины.

## Прогнозные ресурсы и поисковые объекты

Как мы видим, объектов, на которых сегодня можно ставить нефтепоисковые скважины, в Мезенском бассейне пока нет, и вряд ли они появятся раньше, чем нефтяные компании выполнят дорогостоящие детальные сейсморазведочные работы. Хотя уже сейчас антиклинальных областей можно выделить достаточно много. Но по логике приведенных нами доводов и построений, составленные там скважины покажут отрицательные (чтобы не сказать катастрофические) результаты. До сих пор отсутствие даже скромных нефтегазопроявлений приводило лишь к временной приостановке поисковых работ, новые же пустые скважины заставят прекратить здесь поиск нефти и газа навсегда.

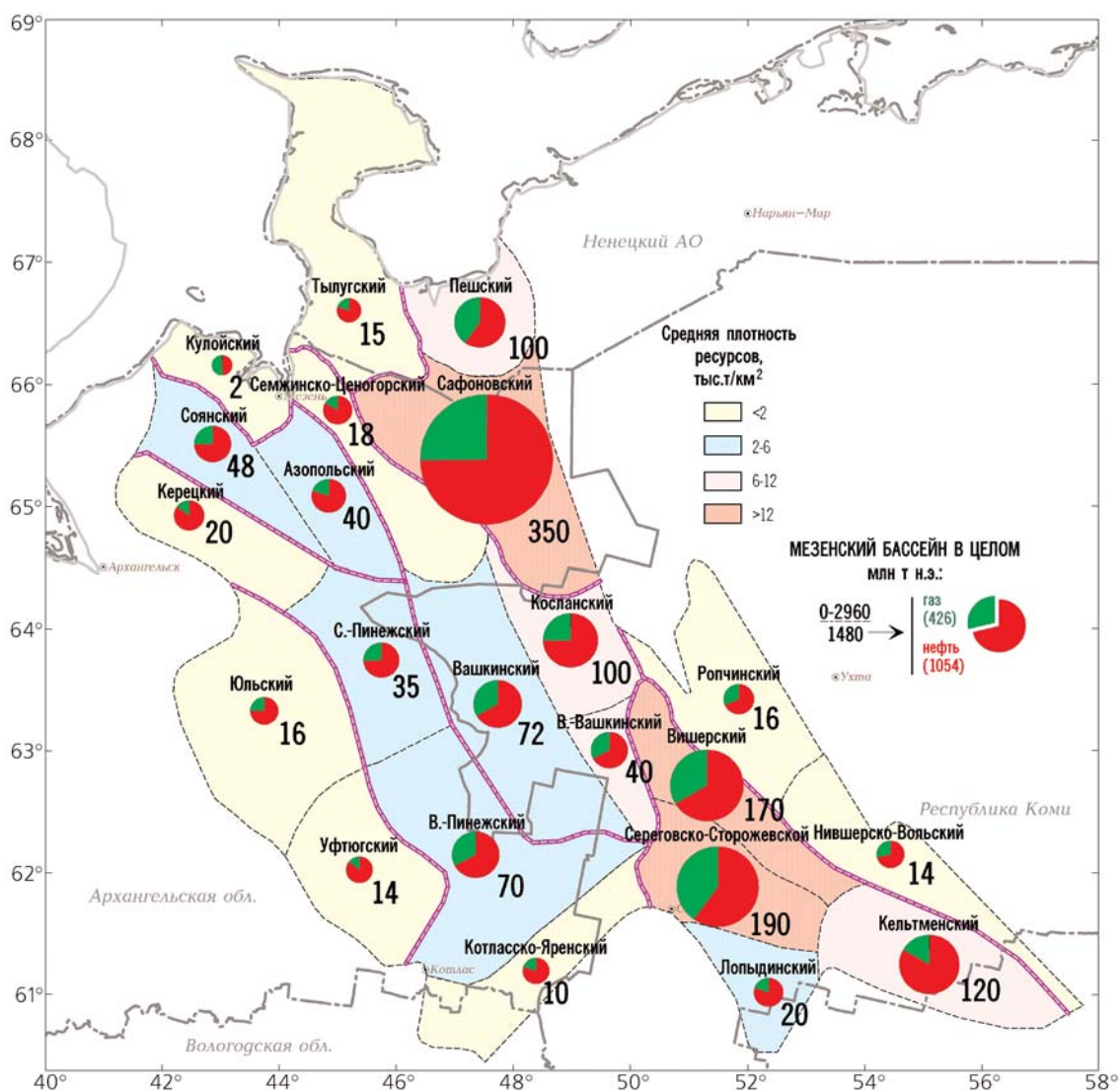
Поэтому не следует спешить, а, используя многочисленные новые данные, нужно попытаться понять, чего ждать от Мезенского бассейна в будущем. Современная теория позволяет это

сделать даже при недостатке фактического материала. Для прогнозной оценки в таких случаях используются внешние аналогии — другие осадочные бассейны с реально нефтегазонасыщенными верхнерифейскими отложениями, по развитию похожие на Мезенский бассейн, а также специальные методики расчетов, учитывающие объемы эффективного пустотного пространства в породах-коллекторах различных типов, коэффициенты нефтегазонасыщенности, качество флюидопоров и многие другие параметры [5].

Прогнозные ресурсы всей Мезенской синеклизы, вместе с примыкающей к ней с юго-востока Вычегодской впадиной, оцениваются примерно в 1.5 млрд т нефтяного эквивалента (1000 м<sup>3</sup> газа = 1 т нефти), при соотношении нефти и газа около 2.5. Мы сознательно оцениваем ресурсы Мезенского бассейна в виде большой «вилки», в которой равновероятны как минимальная (нулевая) величина, так и максимальная (около 3 млрд т), поскольку главное условие нефтегазонасы-

ности — частичное сохранение верхнерифейского регионального флюидоупора — прогнозируется с большой вероятностью, но не доказано.

Может показаться, что оптимистическая оценка прогнозных ресурсов в 3 млрд т выглядит завышенной. На самом деле это немногим больше, чем разведанные запасы нефти одного лишь (правда гигантского) Самотлорского месторождения в Западной Сибири. При площади Мезенского бассейна около 300 тыс. км<sup>2</sup> прогнозная плотность ресурсов оказывается не более 10 тыс. т/км<sup>2</sup> — меньше, чем в самых бедных районах, например, Тимано-Печорской провинции. Если же брать среднюю плотность ресурсов центральных и западных районов Мезенского бассейна (менее 5 тыс. т/км<sup>2</sup>), то такие величины встречаются лишь в некоторых регионах Западной Европы, где большой удачей считается открытие нефтяных залежей с запасами в несколько сотен тысяч тонн. Более того, если бы мы не предполагали, что в отдельных районах Мезенской синеклизы



Предварительная оценка прогнозных ресурсов нефти и газа Мезенского бассейна. Размеры круговых диаграмм (красный сектор — нефть, зеленый — газ) для каждого района пропорциональны средним величинам прогнозных ресурсов, цифры рядом — млн т н.э. (нефтяного эквивалента).

плотность ресурсов существенно выше средней (25–30 тыс. т/км² и даже — 40 тыс. т/км²), то, вероятно, надо было вовсе отказаться от продолжения поисковых работ.

Поэтому главный вывод, ради которого, собственно, и выполняется предварительное нефтегеологическое районирование, в том, что и сами ресурсы, и их плотность распределены в Мезенском бассейне крайне неравномерно. Если из 22 выделенных районов выбрать 4

самых богатых — Сафоновский, Сереговско-Сторожевской, Вишерский и Кельтменский, то их суммарные прогнозные ресурсы в 1.3 раза превосходят ресурсы остальных 18 районов! Это лишний раз подтверждает, что нефтепоисковые работы следует начинать с притиманской (восточной) части, а центральные и западные районы оставить в резерве.

Разумеется, все оценки прогнозных ресурсов нефти и газа пока остаются сугубо гипотети-

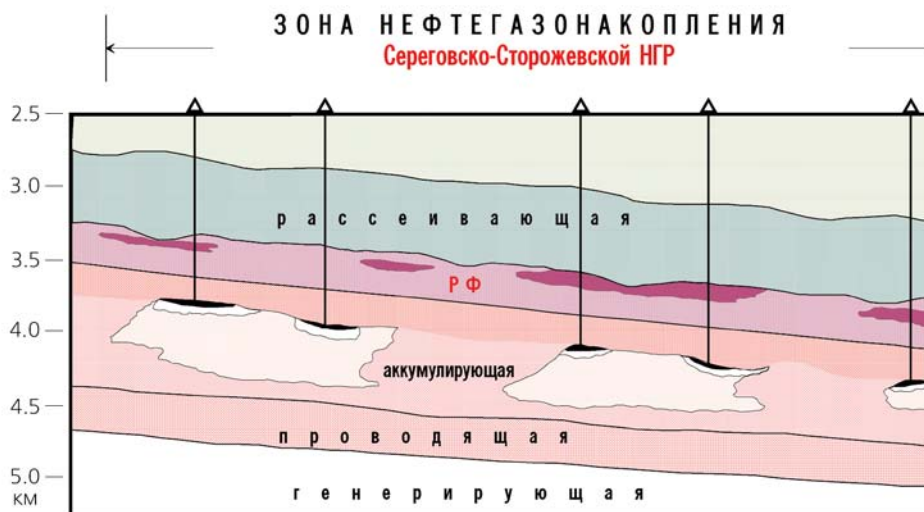
ческими. Большею частью они базируются на геодинамических реконструкциях, а не на фактических данных, которых попросту нет. Однако даже такие приближенные цифры могут стать ориентиром для нефтяных компаний, которые собираются рисковать своими средствами, занимаясь поисками здесь месторождений нефти и газа.

В частности, уже сегодня можно не сомневаться, что промышленные залежи, если будут

**Поисковая модель N1**



**Поисковая модель N2**



0 10 км

- |  |                                         |  |                                   |
|--|-----------------------------------------|--|-----------------------------------|
|  | глинистые, алевролиты, песчаники        |  | мергели                           |
|  | песчаники                               |  | глинистые с прослоями сульфатов   |
|  | глинистые                               |  | соли                              |
|  | карбонатные                             |  | региональный флюидоупор           |
|  | карбонатные с прослоями сульфатов       |  | а-залежь, б-эффективный резервуар |
|  | карбонатные органогенные (строматолиты) |  |                                   |

Эскизные модели поисковых объектов для наиболее перспективной восточной (притиманской) полосы прогибов Мезенского бассейна.

открыты, вряд ли выйдут из категории мелких и средних (т.е. не более 20—30 млн т). Такие залежи очень трудно искать и разрабатывать, поэтому мы пытаемся составить эскизные модели будущих поисковых объектов. Идея моделей опирается на основное, еще не подтвержденное фактическими данными предположение: на довольно значительных территориях восточных (притиманских) впадин от ранневендского размыва сохранилась часть регионального флюидоупора, способного экранировать залежи в верхнерифейских карбонатных резервуарах. Различия моделей в том, что в Сафоновском районе мы рассчитываем всего лишь на глинисто-мергельный флюидоупор, а в Сереговско-Сторожевском — на большие площади верхнерифейской соли, улучшающей качество покрывки [6].

Благодаря вертикальной изоляции под такими реликтами флюидоупора может сохраниться замкнутая гидродинамическая система, которая функционировала в конце рифея, а позднее регенерировалась сначала при поздневендских, а затем и при более интенсивных палеозойских прогибаниях. В этих условиях на склонах впадин в зонах, включающих многочисленные органогенные постройки, происходило длительное нефтегазонакопление. Оно прекращалось на этапах значительных вздыманий, но затем вновь активизировалось при прогибаниях.

\* \* \*

Приходится признать, что полувековая история поисков нефти в Мезенском бассейне, пока не увенчавшихся успехом, в числе прочего служит примером крайне слабого научного обоснования поисковых работ прошлых лет. Такой вывод мы вынуждены сделать скрепя сердце. Крайне неприятно критиковать предшественников, тем более, что им приходилось действовать в гораздо более сложных условиях, чем нам, и на основе их результатов были получены представления о строении бассейна.

Сегодня, после выполнения регионально-поисковых исследований, начатых в 1998 г., мы понимаем, что ни одна из пробуренных в Мезенском бассейне скважин не имела ни малейшей возможности открыть промышленную залежь и, что самое обидное, ко времени постановки скважин для такого заключения уже имелось достаточное количество геологических материалов. Тем более важно не упустить шанс и тщательно обосновать направления новых поисковых работ. Иначе мы снова рискуем отказаться от поисков здесь нефти. Из-за собственного невежества, а не из-за бесперспективности объекта.

На наш взгляд, вероятность открытия промышленных месторождений в Мезенском бассейне превысила 50%. Поэтому в заключение нелишне отме-

тить, сколь важные последствия будет иметь получение промышленных притоков нефти или хотя бы достоверных нефтегазопроявлений. Во-первых, это открытие новой нефтегазоносной провинции в европейской части России, в регионах, испытывающих острую потребность в углеводородном сырье. Во-вторых, повышение интереса нефтяников к продуктивности рифейских отложений на соседних территориях: Кольской моноклинали (крайний юг Баренцева моря), в нижних горизонтах чехла в Пермской обл., да и в тех районах Тимано-Печорской провинции, где рифей залегает на доступных глубинах. И наконец, если нефть в Мезенской синеклизе будет открыта, она окажется единственным в мире осадочным бассейном с автономным онтогенезом углеводородов в рифее, что станет основанием для тотального пересмотра материалов по всем возможно нефтегазоносным бассейнам мира с большими мощностями рифейских отложений. ■

**Работа выполнялась по заказу Альянса компаний по региональному изучению Мезенской синеклизы. Фундаментальные разработки в области геодинамического анализа осадочных бассейнов поддержаны грантом Благотворительного фонда содействия отечественной науке (2003).**

## Литература

1. *Аплонов С.В., Келлер М.Б., Лебедев Б.А.* Сколько нефти осталось в российских недрах? // Природа. 2000. №7. С.35—42.
2. *Лебедев Б.А., Аплонов С.В.* // Рос. геол. ж. 1998. Т.11—12. С.40—44.
3. *Аплонов С.В.* Обский палеоокеан // Природа. 1987. №12. С.17—23.
4. *Sondie K.C.* // Tectonophys. 2000. V.322. №1—2. P.163—190.
5. *Лебедев Б.А.* Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. Л., 1992.
6. *Пименов Б.А., Малышев Н.А., Теплов Е.Л.* Перспектива нефтегазоносности Мезенского бассейна // Актуальные проблемы геологии горючих ископаемых осадочных бассейнов европейского севера России. Сыктывкар, 2000. С.117—120.

# Рост численности бычка-бланкета в Черном море

Научные сообщения

М.В.Чесалин, С.М.Игнатъев, С.А.Царин,

кандидаты биологических наук

Институт биологии южных морей Национальной академии наук Украины  
Севастополь

За последние пять лет произошло заметное оздоровление экосистемы Черного моря, что привело к восстановлению численности некоторых промысловых видов рыб. Более того, отмечен быстрый рост численности редко встречающихся и малоизученных рыб, к коим относится и единственный пелагический вид семейства бычковых (Gobiidae) — бычок-бланкет (*Aphia minuta*). Эта прозрачная рыбка — одна из самых мелких в Черном море (не более 5–6 см в длину) [1].

Бычок-бланкет относится к бореально-атлантическим реликтам и распространен в Черном, Средиземном и Балтийском морях: встречается вдоль европейских берегов Атлантического океана до 60°с.ш. [2–4]. В Черном море вид населяет прибрежные воды (за исключением лиманов) Болгарии, Румынии, Крыма и Кавказа.

Сначала предполагали, что бланкет, как и большинство других видов бычков, обитает в тихих бухтах в зарослях морских водорослей и трав (цистозир и зостеры), где в летний период откладывает икру на растения и в пустые раковины моллюсков [5]. Затем было установлено, что это — стайный прибрежно-пелагический вид [1]. До конца 60-х

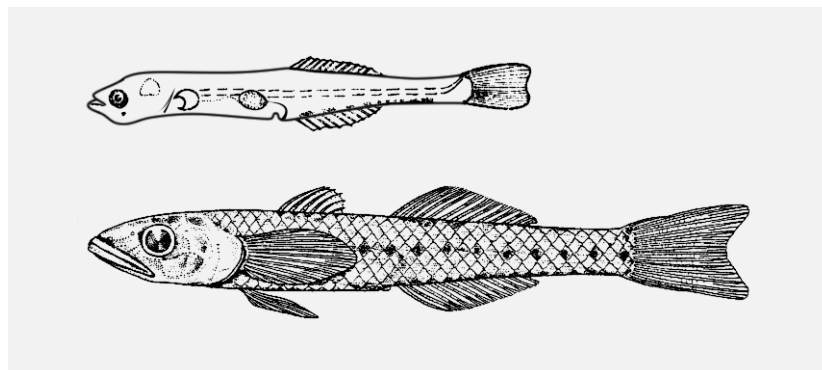
годов XX в. бланкет считался обычным черноморским видом, однако с середины 70-х годов он более чем на 20 лет выпал из поля зрения исследователей. В обзорных сводках 80-х и начала 90-х годов бычок-бланкет даже не упоминается в видовых списках рыб [6–8]. Только в середине 90-х годов единичных личинок этого бычка вновь стали регистрировать в планктоне [9].

Следует отметить, что в северо-западной части Средиземного моря в районе о.Майорка бычок-бланкет — один из основных объектов местного промысла Испании в зимний период [4, 10].

В мае 1999 г. два экземпляра бланкета были обнаружены в пробе шпрота, отловленного промысловым тралом в районе Севастополя на глубине около

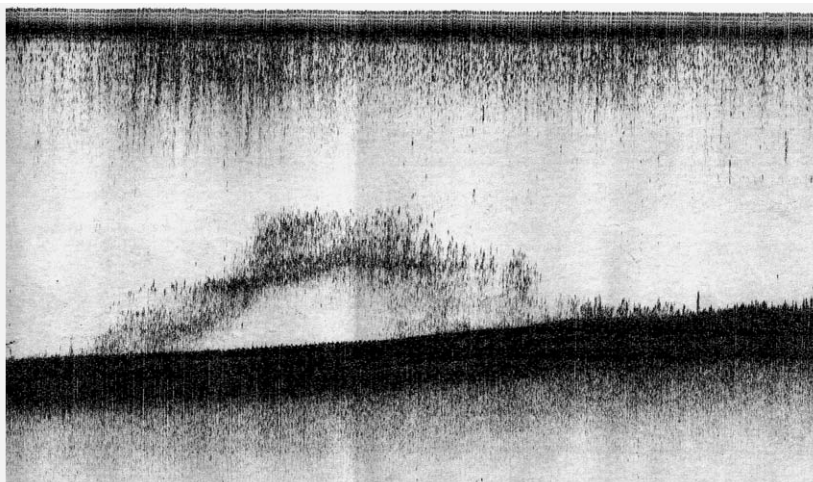
96 м. В марте—апреле 2000 г. и марте 2001 г. этот бычок был отмечен здесь в массовом количестве в уловах с глубины 50–80 м. По словам рыбаков, ранее эта рыба им не попадалась. Плотные (до нескольких десятков, а то и сотен экз. на куб. м) скопления бланкета протяженностью 1.5–2 мили регистрировались на глубине 50–90 м. По глубине нахождения, форме, интенсивности звукорассеивания скопления бланкета мало отличались от стай промысловых рыб шпрота и хамсы, что дезориентировало рыбаков и приводило к непроизводительным тратам усилий и времени, так как большинство мелких рыбешек проходило сквозь ячею.

В результате биологического анализа бычка-бланкета было



Бычок-бланкет: личинка (вверху) и взрослая особь.

установлено, что стандартная длина рыб в уловах составляла от 19 до 39 мм (в среднем 30 мм), масса тела — от 25 до 454 мг (в среднем 182 мг). Количество самцов немного превышало число самок (соотношение полов 1.1:1), все особи были неполовозрелыми. Известно, что размножение бланкета происходит в летний период, а половой зрелости он достигает к следующему лету, при этом продолжительность жизни вида не более года [2, 11]. Стало ясно, что возраст пойманных бычков составлял 7–10 мес. В желудках рыб были обнаружены остатки копепода (*Acartia clausi* и *Pseudocalanus elongatus*), которыми питаются также черноморский шпрот и хамса. Таким образом, пелагическая молодежь бычка-бланкета может стать пищевым конкурентом основных промысловых пелагических рыб Черного моря. В то же время известно, что сам бланкет — объект питания многих придонных черноморских рыб (мерланга, барабули, глоссы, морского языка, морского дракона, скорпены и др.) [12, 13]. Отсюда следует, что бычок-бланкет иногда может играть важную роль не только в прибрежных, но и в пе-



Эхограмма звукорассеивающего скопления бланкета на глубине 70–80 м.

лагических сообществах Черного моря.

Причины внезапного появления массовых скоплений бланкета в пелагиали в Черном море пока не ясны. Возможно, этому способствовали теплые зимы 1999–2001 гг. Несомненно, свою роль сыграло и вселение гребневика *Beroe ovata*. Этот чужеродец значительно уменьшил численность другого желетелого вселенца — гребневика из отряда *Lobata*, *Mnemiopsis leidyi*, ос-

новного потребителя черноморского планктона с середины 80-х годов [14]. Резкое уменьшение давления этого вселенца на экосистему привело к улучшению состояния кормового зоопланктона (копепод и личинок мизид и десятиногих раков) — основной пищи мелких пелагических рыб, в том числе и бланкета. ■

Авторы выражают благодарность Д.К. Гуцалу за предоставленные пробы.

## Литература

1. Ильин Б.С. // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1949. Т.54. Вып.3. С.16–30.
2. Световидов А.Н. Рыбы Черного моря. М., 1964.
3. Смирнов А.И. Окунеобразные (бычковидные), скорпенообразные, камбалообразные, присоскопериобразные, удильщицеобразные // Фауна Украины. Рыбы. Вып.5. Киев, 1986.
4. Iglesias M., Brothers E.B., Morales Nin.B. // Mar. Biol. 1997. V.129. №2. P.279–287.
5. Ильин Б.С. Определитель бычков (Fam. Gobiidae) Азовского и Черного морей // Тр. Азово-Черноморской науч.-промысловой экспедиции. 1927. Вып.2. С.128–143.
6. Салехова Л.П., Костенко Н.С., Богачик Т.А., Минибаева О.Н. // Вопр. ихтиологии. 1987. Т.27. Вып.6. С.342–252.
7. Салехова Л.П., Костенко Н.С., Вронский П.А. Природа Карадага. Киев, 1989. С.342–352.
8. Ихтиофауна черноморских бухт в условиях антропогенного воздействия. Севастополь, 1993.
9. Багнюкова Т.В. Ихтиофауна // Карадагский государственный заповедник. Летопись природы, 1997. Карадаг, 1998. С.57–65.
10. Marroig M.I. // Inst. Espanol. Oceanogr. Microfichas. 1996. №10. P.327.
11. Калинина Э.М. Размножение и развитие азово-черноморских бычков. Киев, 1976.
12. Фортунатова К.Р. Биология питания морского ерша // Труды СБС. 1949. Т.VII. С.193–235.
13. Виноградов К.О. Ихтиофауна північно-західної частини Чорного моря. Киев, 1960.
14. Игнатъев С.М. Гребневик бероз — гость или житель Черного моря? // Природа. 2002. №2. С.30–31.



# Мониторинг геохимических процессов в аккреционной призме (196-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)

И.А.Басов,

доктор геолого-минералогических наук  
Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН  
Москва

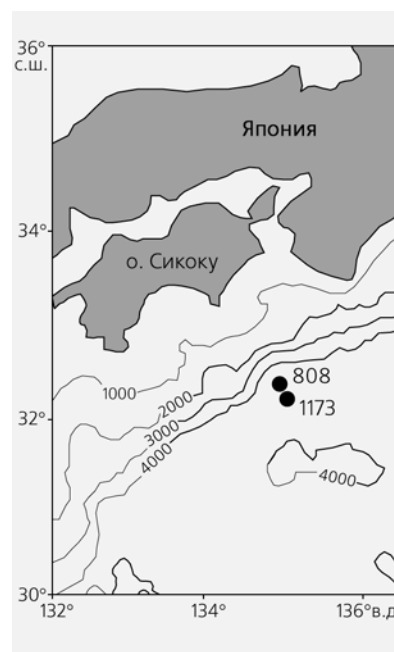
Исследования последних лет показали, что флюиды, которые образуются в погружающейся плите, играют первостепенную роль в преобразовании пород в зонах субдукции и формирующихся горных сооружениях. Для понимания процессов формирования флюидов, их миграции и взаимодействия с осадками необходимы не только детальное опробование в этих районах, но и долговременные стационарные наблюдения и измерения непосредственно внутри аккреционных призм (так называют структуры, возникающие при соскабливании верхних слоев одной океанской плиты и приращении их к фронтальной части другой). В настоящее время такие исследования стали возможны благодаря геохимическим станциям в скважинах.

Их установка — основная цель 196-го рейса «ДЖОИДЕС Резолюшн», который состоялся в мае—июле 2001 г. Руководили работами Х.Микада (Центр морских наук и технологий, Япония), американцы Дж.К.Мур (отдел наук о Земле Университета Калифорнии) и К.Беккер (Школа морских и атмосферных наук Университета Майами), А.Клаус, представитель Программы оке-

анского бурения [1]. Исследования проводились в районе глубоководного желоба Нанкай в западной части Тихого океана и продолжили работы, начатые здесь в 190-м рейсе, когда аккреционная призма на внутреннем склоне желоба была пробурена серией скважин вдоль поперечного профиля [2]. Тогда были отмечены значительные вариации в строении осадочного разреза и геохимических свойств пород, по-видимому, обусловленные особенностями состава флюидов и их миграции в теле призм.

В 196-м рейсе пробурены дополнительные скважины в двух точках, в которых ранее проводилось бурение в 131-м рейсе (808) и 190-м (1173). Проведенный при этом комплексный геофизический каротаж включал определение плотности, пористости, прочности пород, скорости прохождения звука и других параметров, необходимых для сравнения с подобными характеристиками пород в зонах, удаленных от фронта аккреционной призм, а также оценки условий функционирования флюидной системы.

После этого в пробуренных скважинах были установлены геохимические станции для проведения мониторинга физических (деформационных) и геохимических (гидрогеологи-



Положение скважин, в которых в 196-м рейсе были установлены геохимические станции для непрерывного мониторинга физических и геохимических процессов в зоне субдукции.

ческих) процессов в зоне субдукции и над ней. Скважины пробурены в разных частях зоны, что позволяет изучать процессы, происходящие на различных уровнях надвигающейся и погружающейся плит. Так, станция в скважине 808, достиг-

шей фундамента на глубине 737 м, дает возможность следить за свойствами осадков и поведением флюидов во фронтальной зоне аккреционной призмы, в зоне тектонического срыва и фундаменте плиты,

в то время как станция в скважине 1173 (интервал 371—922 м) на внутреннем (океанском) склоне желоба позволит наблюдать процессы в самой аккреционной призме и в подстилающих осадках пододвигающейся

плиты. Таким образом, в ближайшем будущем нас, возможно, ожидают интересные открытия, которые прольют свет на формирование и эволюцию зон субдукции, опоясывающих по периферии весь Тихий океан. ■

## Литература

1. Mikada H., Becker K., Moore J.C., Klaus A. et al. Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. Leg 196. 2002.
2. Басов И.А. Аккреционная призма как модель горообразования (190-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн») // Природа. 2002. №9. С.67—68.

# Биоминеральные микроструктуры оксидных марганцевых агрегатов

Г.Н.Лысюк,

кандидат геолого-минералогических наук

Институт геологии УрО РАН

Сыктывкар

Роль биогенного фактора в минералообразовании в последнее время широко обсуждается с различных позиций. Микроорганизмы рассматриваются как накопители элементов, необходимых для формирования ряда минералов в определенных условиях. Изучается их воздействие на вещество при образовании на его поверхности биопленок. И наконец, микроорганизмы сами формируют некоторые минералы в период своей жизнедеятельности. Не вызывает сомнений и существенное их влияние на процессы выветривания

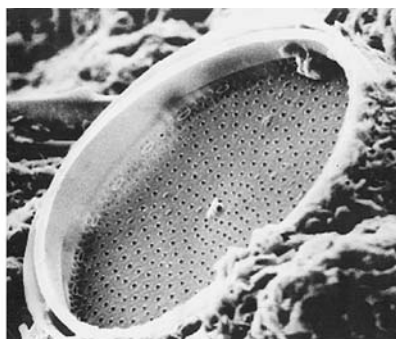
Оксиды марганца — одни из наиболее распространенных

и важных в практическом значении объектов, в образовании и трансформации которых микроорганизмы играют активную роль. Характерная особенность этих соединений — совместное присутствие как явно кристаллических разновидностей, так и тонкодисперсных фаз с крайне низкой степенью упорядоченности (содержанием рентгеноаморфной компоненты до 50—60% при значительных концентрациях рудной составляющей), что до сих пор не нашло достаточно строгого научного объяснения.

Мы попытались с помощью электронно-микроскопических и микронзондовых исследований рассмотреть формирование рентгеноаморфных нанораз-

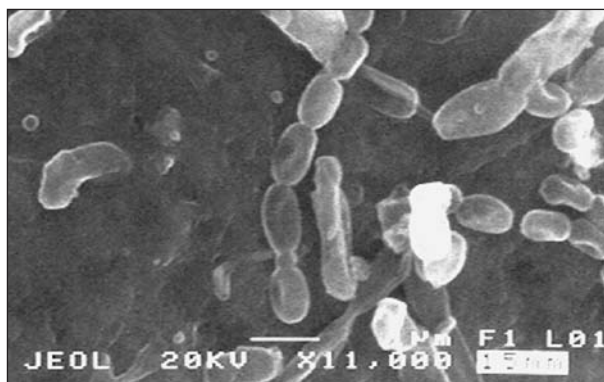
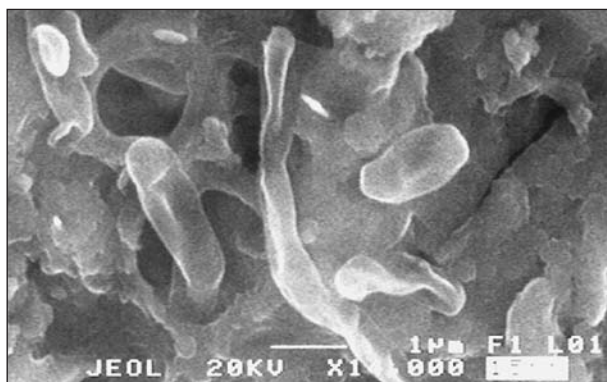
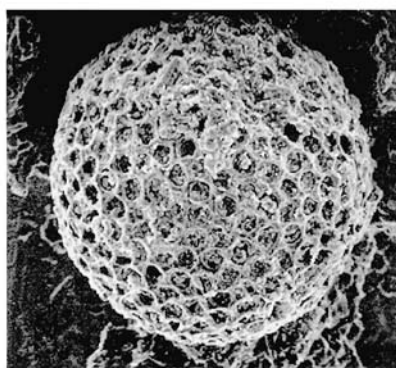
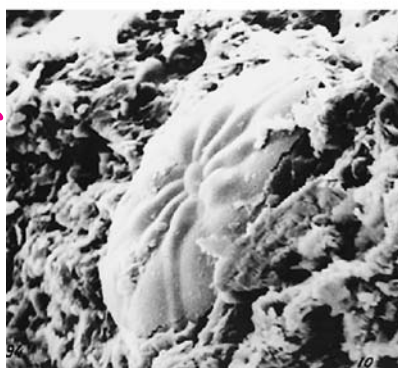
мерных оксидов марганца в океанических железомарганцевых конкрециях и корках выветривания с позиций биогенного минералообразования.

Находки остатков микрофлоры, имеющих послойную локализацию, свидетельствуют об активном участии микробиологических процессов в формировании железомарганцевых конкреций. В пределах барьера суша—море материал начинает поглощаться живыми организмами. В результате возникают металлоорганические комплексы. При изменении физико-химических условий накопленные микроэлементы переходят в растворенное состояние. Структуры организмов, рассматриваемых как аккумуляторы

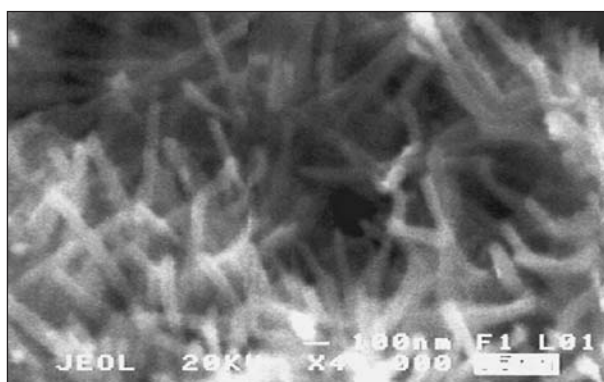
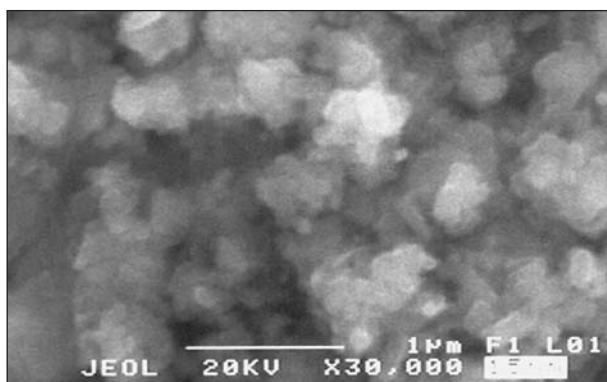


Остатки планктонных организмов во внутренних зонах конкреций. Размер микроорганизмов около 60 мкм.

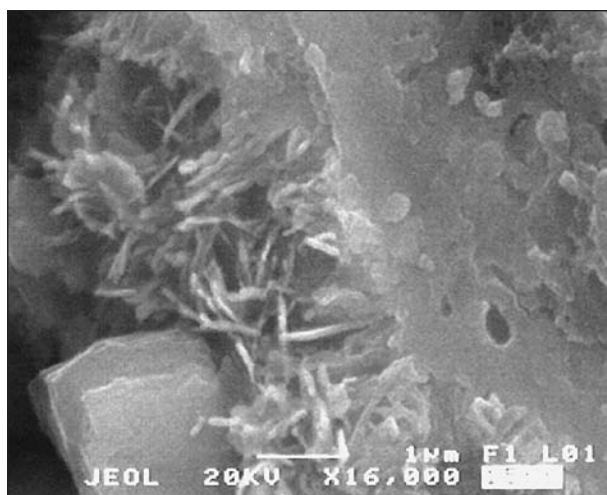
Здесь и далее фото автора



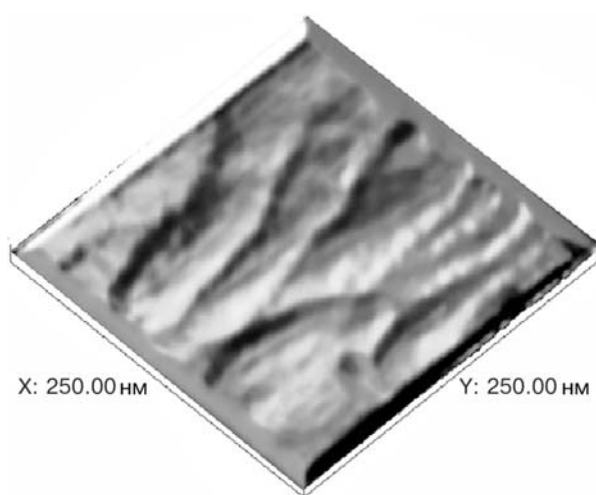
Минерализованные бактериальные пленки (слева) и бактериальные образования на поверхности железомарганцевых конкреций.



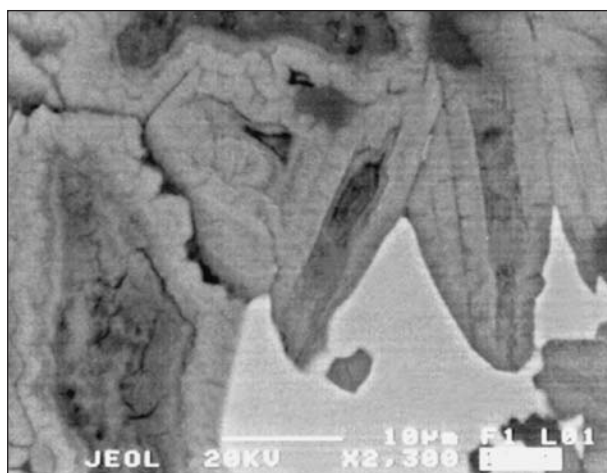
Биоминеральные структуры почковидных агрегатов марганца в образцах из коры выветривания (Средний Тиман). Наноглобулярная структура внешней (слева) и цианобактериальная структура внутренних поверхностей агрегата.



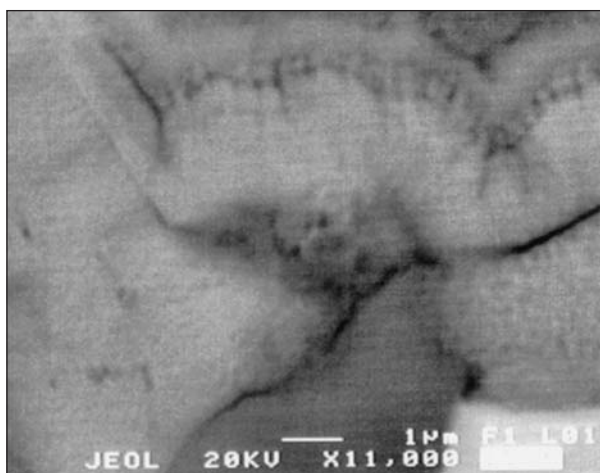
Цианобактерии в межслоевом пространстве железомарганцевых конкреций.



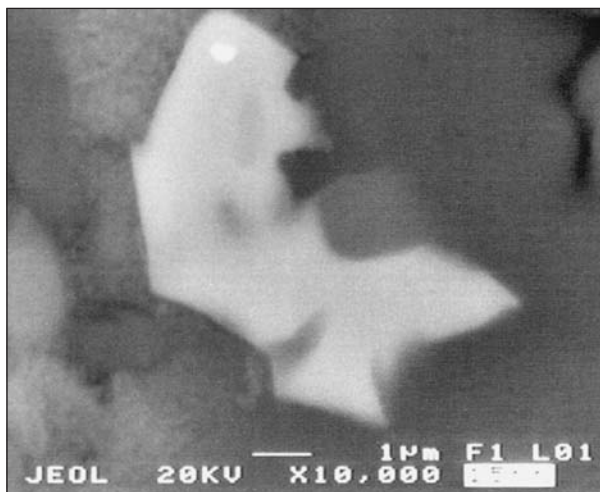
Клеточная структура цианобактерий.



Минерализованные чехлы цианобактерий в марганцевых рудах кор выветривания (слева) и волокнистые наноструктуры оксидов марганца.



Оксид марганца с включением зерна орселита (белое) в окружении волокнистых рентгеноаморфных марганцевых образований.



и транспортеры микроэлементов, практически полностью разрушаются. Тем не менее некоторая часть биомассы достигает дна, попадая в верхние слои осадка, где происходит ее окисление. Это приводит к понижению окислительно-восстановительного потенциала среды, что в свою очередь ведет к диагенетическому перераспределению марганца и формированию марганцевых минералов. Микроорганизмы могут жить на поверхности конкреций и создавать суперструктуру, накапливая окислы железа и марганца. Отмечено, что слои конкреций с многочисленными органическими остатками растут гораздо быстрее.

Объектами наших исследований были тонкодисперсные рудные фазы пелагических железомарганцевых конкреций Тихого океана и марганценовых кор выветривания Среднего Тимана. Электронно-микроскопическое изучение внутренних зон конкреций обнаружило широкое развитие в межслоевом пространстве биопленок, образованных веретено-, палочко- и кокковидными бактериями и их нитчатых чехлами. В состав такой минерализованной бактериальной массы входят (в %): MnO — 28.34; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 17.14; SiO<sub>2</sub> — 7.11; CaO — 2.41; TiO<sub>2</sub> — 1.90; Na<sub>2</sub>O — 1.74; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 1.73; MgO — 1.30; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 1.25; SO<sub>3</sub> — 1.25; CoO — 0.68; CuO — 0.54; NiO — 0.53; K<sub>2</sub>O — 0.50.

Еще одно проявление бактериального фактора в процессе роста конкреций — присутствие в межслоевом пространстве цианобактериального мата следующего состава (в %): MnO —

48.35; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 6.23; MgO — 8.76; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 5.05; SiO<sub>2</sub> — 4.45; NiO — 3.63; Na<sub>2</sub>O — 2.30; CuO — 2.19; CaO — 1.31; K<sub>2</sub>O — 0.68.

Исследования почковидных агрегатов марганца, широко распространенных в корях выветривания Тимана, показали, что выпуклые поверхности почек имеют микроглобулярную структуру. Каждая микроглобула, состоящая (в %) из MnO — 75.66; SiO<sub>2</sub> — 2.17; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 1.69; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 0.62; MgO — 0.55; CaO — 0.52; K<sub>2</sub>O — 0.51, размером около 0.5 мкм сложена отдельными овальными образованиями размером 100—200 нм.

Вогнутая же часть почки заполнена цианобактериальным матом. Состав такой «бактериальной массы» (%): MnO — 72.72; CaO — 0.50; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 0.37; K<sub>2</sub>O — 0.35; SiO<sub>2</sub> — 0.34. Применение метода атомно-силовой микроскопии позволило определить размер отдельных клеток цианобактерий. Их длина около 200 нм, а диаметр 70 нм.

Поверхность поперечного среза почки представляет собой чередование микроглобулярных и цианобактериальных слоев. Характер внутренней структуры агрегата, на наш взгляд, свидетельствует о биогенной природе формирования. Биогенный фактор хорошо объясняет и тонкодисперсность оксидов марганца данного типа, что выражается в очень слабой степени кристаллизации, вплоть до полной рентгеноаморфности.

Бактериальные структуры, сложенные минерализованным гликокаликсом, типичны для рентгеноаморфных, тонкодисперсных оксидов марганца, как и их микроглобулярная структу-

ра. Кроме того, цианобактерии образуют вокруг себя чехлы из обогащенных марганцем компонентов. При этом наноструктуры оксидов марганца представляют собой волокнистые агрегаты со следующим составом (в %): MnO — 82.98; MgO — 4.16; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 1.53; CaO — 0.13.

В изученных пробах мы также обнаружили включения металлов. В конкрециях наиболее распространены красные пластинки, чешуйки и дендриты меди и латунно-желтые зерна интерметаллических соединений меди и цинка. Реже встречаются сплав железа с медью и самородное железо. Помимо этого, наблюдались единичные зерна самородного алюминия и цинка.

В образцах из коры выветривания Тимана среди рентгеноаморфных оксидов марганца обычны включения пленочек металлического железа размером от 10 до 20 мкм. Кроме того, внутри кристаллических агрегатов железомарганцевых оксидов составом (в %): MnO — 35.93; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 43.45; V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 3.91; TiO<sub>2</sub> — 1.81; CaO — 0.96; SiO<sub>2</sub> — 0.56; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 0.51 и размером около 10 мкм, окруженных волокнистыми рентгеноаморфными оксидами марганца, было обнаружено несколько зерен размером менее 300 нм, составом (в %): Mn — 32.12; Fe — 38.46; Ni — 19.02; As — 8.92; Si — 0.58; Ca — 0.39, отнесенных нами к минералу группы орселита (Ni<sub>5</sub>As<sub>2</sub>). ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 00-15-984885 и 02-05-65019.**

# Встречи с И.Р.Пригожиным

А.М.Блох,  
доктор геолого-минералогических наук  
Москва

*Ощущение ясности мысли позволяет среди многих путей к истине выбрать наиболее правильный. Этой душевной ясностью я обязан моей жене Марине.*

И.Р.Пригожин

25 января Илье Романовичу Пригожину исполнилось бы 87 лет. Впервые эта дата отмечалась без него. Он скончался 28 мая 2003 г. на руках своей верной спутницы, чье имя уже упомянуто в эпитафии. Выдающийся деятель естествознания 20-го столетия, он сумел своими фундаментальными построениями изменить философское восприятие окружающего мира, обогатив это восприятие понятием «язык Пригожина». Он не страшился оказаться в одиночестве среди вчерашних соратников, которые не поспевали за непредсказуемыми разворотами его мыслей.

Научный багаж Ильи Пригожина в общем-то читателям «Природы» знаком не понаслышке. Журнал не раз предоставлял свои страницы его докладам и выступлениям [1]. Потому, отдавая дань памяти замечательному ученому и человеку, остановлюсь в основном на воспоминаниях о встречах с ним, коими счастливо одарила меня судьба.

Мне впервые довелось услышать о нем и его трудах, в которых рассматривалось поведение систем, далеких от равновесия, т.е. о диссипативных структурах, в середине 70-х годов. Тогда в русском переводе появи-



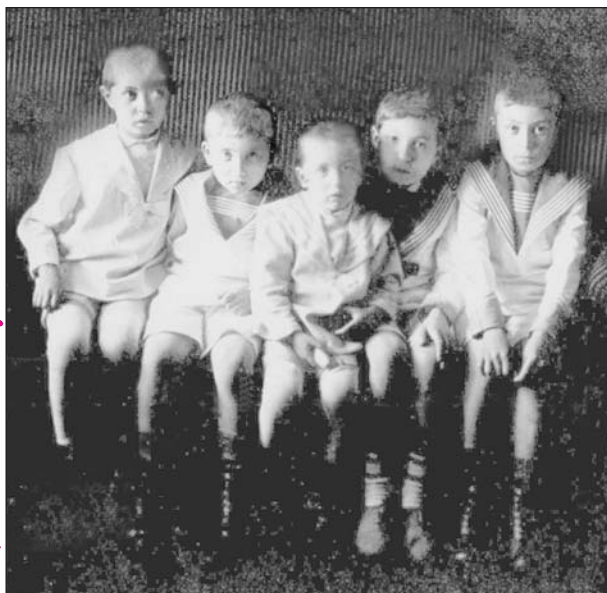
Илья Романович Пригожин с женой Мариной.

Все фото из семейного архива И.Р.Пригожина и его московских родственников

лась его (в содружестве с П.Глендсдорфом) капитальная монография, посвященная этим принципиально новаторским идеям [2]. Потому я был вполне подготовлен к известию о присуждении Пригожину в 1977 г. Нобелевской премии по химии «за работы по термодинамике необратимых процессов, осо-

бенно за теорию диссипативных структур».

«Исследования Пригожина в области термодинамики необратимых процессов коренным образом преобразовали и оживили эту науку, — сказал Стиг Классон во вступительной речи от имени Шведской королевской академии наук. — Эта



С двоюродными братьями (наш герой в центре) на даче в Покровском-Стрешневе. Лето 1921 г.



18-летний Илья за фортепьяно.



В детские годы.

работа открыла для термодинамики новые связи и создала теории, устраняющие разрывы между химическим, биологическим и социальным полями научных исследований... Исследования Пригожина отличаются также эlegantность и прозрачность, поэтому ученого заслуженно называют «поэтом термодинамики»».

Еще в 1962 г. он стал директором Международного института физики и химии в Брюсселе, а в 1967 г. основал в Остине, при Техасском университете, Центр статистической механики и термодинамики. С тех пор он работал одновременно и в Брюсселе, и в Остине.

Мой корыстный интерес к столь высоким для геолога-осадочника материям, которыми занимался Пригожин, объясняется тем, что на рубеже 50—60-х годов мне пришлось столкнуться

на урановом месторождении в Восточном Забайкалье с природным феноменом, который никак не укладывался в прокрустово ложе гиббсовой неравновесной термодинамики.

Только ознакомившись с пригожинской моделью состояний вдали от равновесия, удалось подвести строгий теоретический фундамент под доморощенные догадки и рассуждения.

В 1981 г. в «Известиях АН СССР, сер. геологическая» появилась моя заметка, которая представляла собой ответ на критику предыдущей публикации [3]. В своем ответе я впервые использовал конкретные построения Пригожина, а получив оттиск, послал его в Брюссель. Вскоре от Ильи Романовича пришло теплое письмо и даже пожелание, чтобы я посетил его институт и прошел там стажировку. Сколь ни лестным

представлялось это приглашение, для тех времен оно было не только наивным, но даже опасным по отношению к человеку, работавшему в режимном научном учреждении.

В разгар горбачевских перемен я напомнил о себе, а в 1992 г. смог, под эгидой недавно созданной общественной Академии естественных наук, организовать визит Пригожина в Москву\*.

Илья Романович родился в Москве. Это произошло в 1917 г., а в конце лета 1921 г., четырех с половиной лет, его увезли из России. Эмигрировала семья по самой тогда популярной, для Москвы во всяком случае, литовской выездной визе. Посланник Литовской республики Юргис Балтрушайтис, выпускник Московского университета, русскоязычный поэт и переводчик, к тому же давний приятель А.В.Луначарского по литературным салонам, сумел воспользоваться знакомством, дабы получить повышенную квоту для желавших покинуть советскую Россию\*\*.

Отец Ильи Романовича Пригожина, Роман Абрамович, окончивший химико-технологический факультет Московского высшего технического училища, покидать послереволюционную Россию не собирался. Получив диплом инженера, он в 1913 г. организовал у Крестовской заставы, на самой окраине тогдашней Москвы, небольшой завод по производству лакокрасочных изделий. Там же, в самом конце Большой Переяславской улицы, обосновалась и семья

\* Все, что излагается ниже, основано на записях бесед с ним и его многочисленными московскими родственниками.

\*\* По «литовскому пути», например, эмигрировал поэт-символист К.Д.Бальмонт. По воспоминаниям писателя Б.К.Зайцева, «в 1920 году <...> Балтрушайтис, верный друг его, устроил ему выезд законный — и спас его этим <...> Осенним утром в Николопесковском мы — несколько литераторов и дам — прощально махали Бальмонту с присными его, уезжавшими на вокзал в открытом грузовике литовского посольства» [4].

молодого предпринимателя. Осенью 1918 г., когда по России прокатилась волна национализации, пригожинский заводик получил государственный статус и, с учетом сиюминутных нужд, был перепрофилирован на мыловарение. Директором его, как тогда практиковалось, назначили бывшего владельца.

В 1921 г. начались аресты прежних фабрикантов. Чтобы не испытывать судьбу, отец семейства посчитал за лучшее переждать лихолетье в литовском Ковно (ныне Каунас). Квартиру оставил родной сестре с дочерьми, которая уже жила там, перебравшись из Харькова. Ныне здравствующая Анна Александровна Камионская, двоюродная сестра Ильи Романовича, рассказывала со слов своей матери, что на Брестском вокзале, прощаясь, Роман Абрамович обещал вернуться через год, когда все утихомирится, а старшему сыну придет пора идти в школу.

Однако судьба распорядилась иначе. В 1922 г. семья Пригожиных переехала в Берлин, где обосновался один из братьев Романа Абрамовича, а в 1929 г. окончательно осела в Брюсселе. Переезд в Бельгию был связан с языковым барьером; родители так и не сумели вписаться в немецкую языковую среду. Поскольку мать Ильи Романовича с детских лет свободно владела французским, решили ехать в одну из франкоязычных стран. Бельгию выбрали как наиболее дешевую для повседневной жизни.

Такой выбор спас семью Пригожиных во время второй мировой войны от нацистского геноцида. Бельгия, как и Дания, сумела стать своеобразным оазисом в оккупированной Европе. Гитлеровские расовые законы если там и действовали, то в четверть силы. Правительства этих двух стран, опираясь на поддержку населения, отмежевались от участия в депортации своих граждан по расовому признаку. Как рассказывал Илья



Студент Свободного университета Брюсселя.

Романович, премьер-министр бельгийского правительства периода оккупации страны оказался единственным политическим деятелем в Европе, кто после войны был оправдан судом по всем статьям предъявленных ему обвинений в коллаборационизме.

Тем не менее летом 1943 г. Илья Романович с первой женой, вскоре умершей, и ее слепой матерью все же оказался в нацистском концлагере. Собравшись отдохнуть на природе, он воспользовался любезным предложением друга семьи, бельгийского генерала, пожить на его пустовавшей загородной вилле. Хозяин не подозревал, что дом этот служил явкой для бельгийского подполья и находился под бдительным наблюдением гестапо. Вспоминая о том драматическом эпизоде длиной в десять недель, Пригожин говорил, что по большому счету спасением они были обязаны Сталинграду. После сокрушительного разгрома на Волге наиболее дальновидные нацисты поняли, что война проиграна, и тестю, опытному адвокату, удалось, при содействии подпольщиков, набрать требуемую





Король Бельгии Бодуэн поздравляет с премией Э.Сольве. 1965 г.



Король Испании Хуан Карлос посвящает в члены Королевской академии наук.

сумму, выйти на нужных людей в гестапо и за взятку выкупить узников.

Несмотря на случайность ареста, Пригожин все-таки был грешен перед оккупационными властями и вспоминал о том в концлагере с содроганием. После захвата Бельгии все университеты страны были закрыты. Преподавание, однако, нелегально продолжалось, преимущественно по частным квартирам. Среди преподавателей был и недавний выпускник университета Пригожин. После освобождения бельгийское правительство наградит молодого лектора медалью Сопротивления. Эта награда среди непостижимого (для одного ученого) числа научных наград\* была для него самой дорогой...

Однажды мне пришлось услышать из уст Ильи Романовича

\* По сведениям справочного издания Свободного университета Брюсселя, приуроченного к 80-летию ученого и 20-летию присуждения ему Нобелевской премии, по состоянию на 1997 г. Пригожин состоял членом 70 академий и научных обществ из 31 страны на всех континентах, почетным доктором 38 университетов и институтов в 19 странах и был удостоен 22 ученых премий и стольких же медалей научных организаций.

рассказ о том, как подростком он размышлял о своем будущем и почему, несмотря на гуманитарный склад ума в годы детства и отрочества, стал студентом химического факультета Свободного университета Брюсселя...

Мама, музыковед по образованию, говорила ему, что ноты он научился читать раньше, чем буквы. Уже в трехлетнем возрасте бойко играл на фисгармонии, купленной специально для него, и покушался на мамин рояль. В письме, которое я получил от Пригожина в 1981 г., он писал, что в первый приезд в родной город летом 1957 г.\*\* еще застал свой дом на Большой Переяславской, впоследствии снесенный. В отцовской квартире продолжала жить двоюродная сестра с семьей. Зайдя туда, он сразу узнал сохранившиеся в доме рояль, фисгармонию и книги, стоявшие в отцовском дубовом шкафу.

Увлечение музыкой продолжалось и в эмиграции. В Брюс-

\*\* Первая поездка Пригожина в Москву состоялась благодаря персональному приглашению академика А.И.Опарина принять участие в Международном симпозиуме по проблеме происхождения жизни на Земле.

селе его игра уже напоминала экзерсисы профессионала, и среди родных утвердилась мысль о его будущей концертной карьере. Но ближе к отрочеству интересы его поменялись. Не без невольной подсказки взрослых, мягко посмеивавшихся над его логическими рассуждениями по тому или иному поводу и шутиливо пророчивших ему адвокатское будущее. Взрослеющего мальчика заинтересовала такая перспектива, и он решил самостоятельно разобраться, что же такое адвокат. Узнав, что адвокатское дело — защищать преступников в суде, стал раздумывать, какими при этом следует располагать профессиональными знаниями. Оказалось, что перво-наперво надо разобраться в психологии будущего клиента. Как раз к этому времени вышел в свет первый том фундаментальной энциклопедии по психологии. Просмотрев его, юный Пригожин уразумел, что без знания биологии ничего не поймет. Засев за биологическую литературу, обнаружил, что надо еще знать химию. А там уже замаячила потребность в физике, математике. Так он стал естествоиспытателем.

На химический факультет университета поступил в 1935 г. Пришел туда в силу сложившейся в семье традиции — по примеру отца и учившегося на старшем курсе брата. Еще в процессе прохождения университетского курса Пригожин вышел на понимание фундаментальной роли в природных процессах понятия необратимости. Первым его учителем был Теофил де Донде, ученик Анри Пуанкаре, основатель брюссельской школы термодинамики. Именно его идеи подвигли Пригожина вступить на путь познания необратимости, неравновесности природных явлений и, наконец, прийти к убеждению о физической продуктивности хаоса на пути к порядку [5]. А впереди — работы, связанные со «стрелой времени».

Его идеи не сразу нашли понимание у коллег. Как вспоминал Илья Романович 5 июня 1993 г. за тесным дружеским столом перед отъездом в Шереметьево, еще в 1979 г., два года спустя после триумфа в Стокгольме, объяснения нобелевского лауреата касательно принципов необратимости многими воспринимались «чем-то на грани нормального и зауми типа языка гуру — сикхских духовных наставников».

Как у большинства творчески мыслящих людей, у Ильи Романовича имелись и свои хобби. Увлечение археологией, которую он связывал со своими профессиональными интересами, сопровождало его почти всю жизнь. Приехав в Аргентину, во время своих выступлений больше говорил о культуре древних инков, чем о неравновесной термодинамике. В итоге ему там присудили степень почетного доктора археологии.

Когда же в 1975 г. он посетил Советский Союз в рамках государственного визита бельгийского короля Бодуэна (предварительно Пригожин получил титул виконта) и оказался в Самарканде, то сумел найти возможность съездить на археоло-



Король Швеции Карл-Густав вручает Нобелевскую премию. 1977 г.

гические раскопки. Впоследствии с удовлетворением вспоминал, что в его присутствии была обнаружена небольшая фигурка Будды.

В брюссельской квартире Пригожина большая комната зального типа уставлена многочисленными стеллажами, наполненными разного рода находками и памятниками древности (на одной из стен висит икона Николая Угодника XVI в.). Немудрено, что ежедневное соприкосновение с домашним музеем поспособствовало сыну Паскалю унаследовать страсть

отца и стать знатоком культуры инков.

Приезжал на родину Илья Романович в общей сложности 11 раз. На встрече с многочисленной московской родней он как-то сказал: «Находясь в Москве, подчас не могу решить, где я — в гостях или дома». Все окружавшее воспринималось им близко и заинтересованно. А бывал он в разные времена послесталинской истории нашей родины — в хрущевские годы «оттепели», в брежневские застойные, а затем и в период горбачевских и ельцинских перемен.



Встреча с Михаилом Сергеевичем Горбачевым. В центре — И.Р.Пригожин с сыном Паскалем. 29 декабря 1992 г.



Дом Пригожиных в Брюсселе.

В 1975 г., находясь в свите короля, Пригожин познакомился с советским высшим руководством. Наблюдения его поучительны. «Я не смог их воспринять как политиков, — говорил он. — Все предложения, выходящие за рамки привычного и заранее предусмотренного, встречались глухим молчанием. Они мне напомнили того крестьянина, который точно знает, когда накормить скотину, когда

кинуть корм курам, и напроочь отрешивается от всего, что не касается его повседневных дел».

Пригожин очень хотел увидеться с Горбачевым, но встреча состоялась только после отставки первого президента СССР, в конце 1992 г. Беседа, в которой участвовал и Паскаль Пригожин, получилась яркой и интересной. В ответ на опасения Ильи Романовича по поводу тяжелого тогда положения рос-

сийской фундаментальной науки собеседник откликнулся энергичной фразой: «Крестьянин умрет с голоду, но семена сохранит. Без сохранения науки и культуры не будет ни реформ, ни достойной России». В тот же день, выступая перед прессой, Илья Романович оценил встречу с Горбачевым как большую честь и заключил: «Особенно рад за сына Паскаля, который увидел его. История прошла через эту знаковую личность».

В заключение вернемся к дате 5 июня 1993 г., когда у меня дома шла увлекательная беседа с ученым и мыслителем. Участниками ее были академик Е.И.Шемякин, знаток и поклонник идей Ильи Романовича, близкие коллеги и переводчики его трудов В.В.Белый и Ю.А.Данилов, писатель Д.С.Данин, а также двоюродный брат и племянник гостя В.Б. и Ю.В.Пригожины. Когда подошло время, мы отправились в аэропорт на присланном Московским университетом микроавтобусе.

Ровно десять лет спустя, 5 июня 2003 г., в те же часы, из того же дома, я торопился в то же Шереметьево на тот же аэрофлотовский рейс до Брюсселя. 6 июня там должны были состояться государственные похороны Ильи Пригожина.

Болея Илья Романович долго и тяжело. Последний раз мне довелось повидать его в январе 2001 г., когда я с сыном приехал в Брюссель на его день рождения и попутно выполнил просьбу РАЕН вручить ему серебряную медаль им.В.И.Вернадского. Уже тогда вид Пригожина не оставлял сомнений в том, что он тяжело болен.

Поддерживали его, однако, оптимизм и способность творчески мыслить и трудиться до конца. Марина, принявшая в госпитале последний его вздох, поведала, что он ни на миг не прекращал подбирать научный материал для двух очередных монографий. Если добавить, что в 1999 г. появилась (написанная в соавторстве с Дилипом Конде-

пуди) новая книга «Современная термодинамика» [6] (вышедшая в серии «Лучший зарубежный учебник» в 2002 г. на русском языке с его особым предисловием), можно только удивляться, каким запасом интеллектуальных сил одарила его природа.

Торжественная панихида по почившему ученому в переполненном парадном зале Королевской академии наук началась в 11 часов утра 6 июня и продолжалась без малого полтора часа. На сцене с овальной задней стенкой и расположенными вдоль нее тремя бюстами из белого мрамора виднейших деятелей бельгийской науки стоял закрытый дубовый гроб, на котором лежала охапка желтых роз. Левее гроба расположились две громадные корзины с теми же цветами. Потом эти розы на длинных стеблях распорядитель на кладбище передаст в руки каждому из очереди, чтобы, коснувшись рукой крышки гроба, тот положил на нее цветок. По установившемуся ритуалу цветы эти опускаются в землю вместе с гробом.

Государственный ранг проходившего церемониала под-

черкивался присутствием в зале королевы Фабиолы и вдовствующей королевы, матери короля. После ряда выступлений, включая выступление потомка основателя Сольвеевского фонда Жака Сольве, который завершил свою речь констатацией, что стихией Ильи Пригожина были «Physics and Music», раздались звуки «Скрипичного момента» Шуберта. На сцену поднялась королева; зал выслушал ее, как положено, стоя.

По завершении церемонии распорядитель отвел сидевшую в первых рядах группу родных и близких к коридорной стене против входа в зал. В самом зале участники панихиды числом до полутысячи выстроились, включая членов королевской фамилии, в живую очередь и степенно, в течение почти часа, двигались не к закрытому гробу, а к родным, чтобы, выразив соболезнование, пожать руку или обменяться троекратным поцелуем. И никаких кружений вокруг открытого гроба. По существу ритуалу прощание родных с покойным свершается в морге. Там же гроб закрывают окончательно. Как объяснили

мне, это — элемент традиционного для западного общества уважения к личной тайне ближнего.

Никаких фотосъемок. Лишь у правого зального прохода тихо стрекотал телевизионный аппарат студии, владевшей соответствующим правом.

Кортеж из полсотни автомобилей с теми, кто пожелал поехать на кладбище, двинулся от Королевской площади, вслед за катафалком, к задней внешней стенке которого был прикреплен огромный, в человеческий рост, венок из роз и лилий. На черной ленте венка — русские слова: «Дорогому Илье Романовичу Пригожину от Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова». Так организаторы церемониала выказали уважение исторической родине покойного.

Как упоминалось выше, в Бельгии не принято оставлять цветы на свежей могиле. Это касается и венков. В этот раз было сделано исключение. Венок от Московского государственного университета покрывал могилу нашего соотечественника почти две недели... ■

## Литература

1. Природа. 1993. №3. С.13—23; 1996. №6. С.134—135; 1998. №6. С.4—11.
2. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации. М., 1973.
3. Блох А.М. О термодинамических особенностях природной микропористой системы порода—вода // Известия АН СССР, сер. геол. 1980. №8. С.115—123; О возможностях термодинамического описания микропористой системы порода—вода (по поводу критических замечаний В.С.Савенко) // Там же. 1981. №9. С.147—150.
4. Зайцев Б.К. Голубая звезда. М., 1989. С.447.
5. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М., 1986.
6. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / Пер. Ю.А.Данилова и В.В.Белого. М., 2002.

## Академик Марр опять прав?

У современного молодого эрудита имя академика-языковеда Николая Яковлевича Марра (1864—1934) в лучшем случае вызовет улыбку: мол, был такой чудаковатый лингвист, утверждавший, что любое слово любого языка возводится к четырем элементам — *сал, бер, ион, рош*, или их комбинациям. Читатель постарше припомнит, что несогласие с марровским «новым учением о языке», объявленным в годы сталинизма «марксизмом в языкознании», дорого стоило чуть ли не целому поколению советских лингвистов.

Жизнь не скупится на парадоксы. Почти 20 лет спустя после смерти Марра появилась брошюра Сталина «Марксизм и вопросы языкознания» (обязательная для изучения в школах, вузах, кружках политграмоты и т.п.), в которой оценка интересующей нас фигуры одним росчерком изменилась с плюса на минус. «Новое учение» Марра о языке было объявлено извращением и вульгаризацией марксизма...

Между тем в истории науки Марр, по выражению академика В.М.Алексеева, «вечный гейзер, не деливший своих вод на струи и назначения, вулкан, действовавший в едином огне и сотрясавший все вокруг», остается еще и как основатель академического грузиноведения и родоначальник множества новых научных институций, в том числе Кавказского историко-археологического института (1917), Российской академии истории материальной культуры (1919) и др.

Распад Российской Империи в 1917, образование на ее территории после гражданской войны новых федеративных республик, стимулировали в начале 20-х годов острую дискуссию между «центром» (Москва) и «окраинами» о принадлежности «национальной науки» и ее финансированию. Ярый сторонник «интернациональной» науки, еще до революции Марр разошелся с ведущими деятелями грузинской культуры, считая, что на Кавказе развитию научного кавказоведения мешают националистические настроения среди армян и грузин. Публикуемое ниже письмо Марра\* одному из столпов большевистской политики научного централизма — заместителю наркома просвещения РСФСР Михаилу Николаевичу Покровскому (1868—1932), — проникнуто не только очевидной иронией по отношению к научной состоятельности «местных сил», но и глубокой личной обидой, вызванной невестребованностью ученого в эпоху казалось бы национального возрождения Грузии.

Н.Я.МАРР — М.Н.ПОКРОВСКОМУ

9 апреля 1924

*Уважаемый Михаил Николаевич, экспедиции Академии истории материальной культуры в значительной мере вычеркнуты из реализуемых предприятий, вычеркнута и в смысле собирания материалов особенно необходимая Дагестано-Чеченская экспедиция, поручавшаяся*

\* Архив РАН. Ф.1759 (М.Н.Покровский). Оп.4. Д.253. Л.1.

*выполнением Н.Ф.Яковлеву\*\*. Кавказский историко-археологический институт в Тифлисе все висит на волоске, не получая регулярно ничего. Я понимаю, что на Кавказе более целесообразным считают работу или местными силами, которым присуща врожденная компетенция (спорить по этому вопросу, как Вам известно, было бесполезно), или заморскими предпринимателями, американцами, которым Совнаркомом Грузии предоставлено производство исследований в Мицхете и Накалакеве (Археополе). Некогда, еще в 1914 г., в Накалакеве были планированы раскопки мною, по приглашению местных же деятелей. При существовании союзных отношений даже американцы оказались более компетентными, чем ленинградская школа кавказоведов и яфетидологов. Естественно, если после этого мне ничего не остается, как приехать для своего обучения в Кавказском центре кавказоведения. Есть ли возможность получить какую-либо материальную поддержку для совершения четырехнедельной побывки в Баку, Эривани и в Абхазии? Поездка мне нужна и научно и для восстановления расшатанных переобремененностью физических сил. Хочу выехать недели через две-три. Жду ответа. И с искренним всегда уважением к Вам Н.Марр.*

С.М.С.

\*\* Яковлев Николай Феофанович (1892—1974) — выдающийся советский лингвист, основным регионом исследований которого был Северный Кавказ.

# Новости науки

## Космология

### Сверхновые типа Ia взрываются несимметрично

Сенсационные открытия в космологии, перевернувшие за последние годы наши представления о характере расширения Вселенной, до сих пор опираются на весьма нетвердый фундамент. Это еще раз продемонстрировало открытие, сделанное на Европейской южной обсерватории международной группой астрономов (Л.Ванг, Д.Бааде, П.Хофлих, А.Хохлов и др. — Wang L., Baade D., Hoeflich P., Khokhlov A. et al.), изучающих вспышки далеких сверхновых звезд.

Среди сверхновых разного типа космологи особо выделяют вспышки типа Ia. Считается, что эти взрывы вызваны коллапсом белых карликов — плотных ядер проэволюционировавших звезд. Поскольку коллапс белого карлика происходит по достижении им определенной критической массы, все такие взрывы должны быть похожи друг на друга. По этой причине вспышки сверхновых типа Ia считаются «стандартными свечами», по видимой яркости которых (в момент максимального блеска) можно определять расстояние до них, а значит, и до их родительских галактик. Именно так в последние годы было измерено расстояние до очень далеких галактик, скорости удаления которых известны по красному смещению линий в их спектрах. Это привело к неожиданному заключению об ускоренном расширении Вселенной. Но теперь оказалось, что такое заключение преждевременно: вспышки сверхновых типа Ia отнюдь не стандартная

свеча. Их яркость зависит от того, с какой стороны на них смотреть (в прямом смысле слова).

Выяснилось это в ходе измерения поляризации излучения сверхновой SN 2001el, которая вспыхнула в спиральной галактике NGC 1448, расположенной от нее на расстоянии 60 млн св. лет. Поскольку пока не существует телескопов, способных рассмотреть форму расширяющейся газовой оболочки очень далекой сверхновой, поляризация света остается единственным указателем того, насколько сильно оболочка отличается от идеальной сферы. Если взрыв абсолютно симметричный и оболочка сферическая, то поляризация должна быть равна нулю. Если же свет рассеивается в несферическом облаке, то возникает слабая поляризация, которую можно зафиксировать. Однако даже от сильно асимметричной оболочки потоки света, поляризованного в двух перпендикулярных направлениях, различаются менее чем на 1%, поэтому приемная аппаратура телескопа должна быть очень чувствительной и стабильной. Именно таким оборудованием славитесь 8.2-метровый телескоп VLT Европейской южной обсерватории в Чили.

Чтобы «поймать» сверхновую в момент взрыва, телескоп длительное время находился в режиме постоянной готовности. Это стало одной из составляющих успеха. Вспышка была обнаружена в сентябре 2001 г. на стадии повышения блеска. Наблюдения, проведенные 2 октября — за неделю до максимального блеска, показали поляризацию на уровне 0.2—0.3%. Вблизи максимума и две недели после него поляризация еще была измерима, но через семь недель ее уже не удавалось зафиксировать.

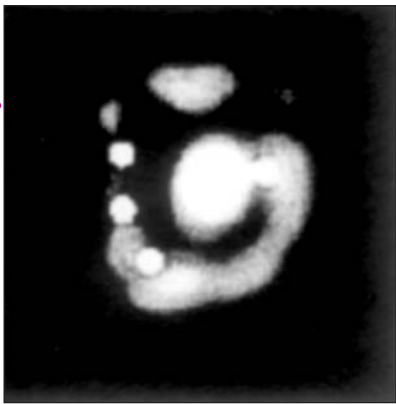
Эти наблюдения впервые доказали, что расширяющаяся со скоростью 10 тыс. км/с оболочка сверхновой несимметрична: если представить ее сжатым сфероидом, то в первые дни после взрыва отношение его осей составляет 9:10. По мере расширения оболочки внешние слои становятся прозрачнее, и мы видим все более глубокие ее области. Они заметно несимметричнее: спустя неделю после максимума блеска оболочка выглядит практически симметричной. Следовательно, если все сверхновые типа Ia имеют такой же характер, то при определении их яркости в момент максимума блеска астрономам гарантирована 10%-ная случайная ошибка, связанная с неизвестной ориентацией расширяющейся оболочки к лучу зрения телескопа. Для решения космологических задач такая ошибка неприемлема. Разумеется, учитывая случайный характер ошибки, ее можно уменьшить, наблюдая большое количество сверхновых, но для этого понадобилось бы много крупных, а значит, очень дорогих телескопов. Проще решить проблему, измеряя блеск сверхновой не в момент максимума яркости, а одну-две недели спустя, когда видимая поверхность оболочки становится почти сферической. Это позволит увеличить точность космологических измерений и окончательно выяснить характер расширения Вселенной.

ESO Press Release 23/03. 6 August 2003.

## Астрофизика

### Ближайший космический мираж

Международная группа астрономов, работая на 3.6-метровом телескопе Европейской южной



*Космический мираж: изображение гравитационной линзы RXS J1131-1231, на котором различимы четыре звездоподобных компонента, соответствующих четырем изображениям одного и того же квазара. Кроме того, видно эйнштейновское кольцо (растянутое изображение галактики, в которой расположен квазар) и галактика-линза (центральное яркое изображение).*  
ESO PR Photo 20a/03

обсерватории Ла-Силья в Чили, открыла еще один объект, демонстрирующий явление гравитационной фокусировки<sup>1</sup>. Он расположен в созвездии Чаша и состоит из четырех изображений одного квазара и кольцеобразного изображения галактики, в которой этот квазар находится. Обнаружена и галактика, играющая роль гравитационной линзы: это массивная эллиптическая система, удаленная от нас на 3.5 млрд световых лет (красное смещение  $z = 0.3$ ). А сам квазар, чье искаженное изображение мы видим, находится вдвое дальше — на расстоянии 6.3 млрд световых лет ( $z = 0.66$ ). Тем не менее это ближайший среди найденных до сих пор квазаров, излучение которого усилено гравитационным линзированием.

Искривление световых лучей вблизи массивного объекта, называемое гравитационной линзой или космическим миражом, было предсказано в 1916 г. как следст-

<sup>1</sup> См. также: Угольников О.С. Гамма-всплески и гравитационные линзы // Природа. 2003. №6. С.18—24.

вие общей теории относительности Эйнштейна, а само его существование подтверждено во время солнечного затмения 1919 г. на основании слабого смещения изображений звезд вблизи диска Солнца. Но использование гравитационных линз как своеобразных природных телескопов началось лишь в 1979 г., когда этот эффект впервые обнаружили при наблюдении далекого квазара, вид которого исказила расположенная между ним и Землей галактика. Изучение детальной формы искаженного изображения позволяет астрономам измерять полную массу вещества в галактике-линзе, определять расстояние как до линзы, так и до квазара и, следовательно, уточнять значение постоянной Хаббла. Кроме этого, гравитационная линза иногда значительно усиливает яркость квазара, помогая изучать его строение.

До сих пор было обнаружено всего 62 гравитационно линзированных квазара, демонстрирующих от двух до четырех изображений. Каждый такой объект чрезвычайно ценен. Новый, открытый в мае 2002 г., получил обозначение RXS J1131-1231. Его случайно заметил при рассмотрении фотографий множества обычных квазаров аспирант Европейской южной обсерватории Д.Слюзе (D.Sluzе). Вместе с коллегами он детально изучил необычный объект и определил расстояние до квазара и галактики-линзы, измерив красное смещение линий в их спектрах. Трудность этой работы состоит в близости четырех изображений квазара друг к другу и к галактике-линзе: они почти сливаются в одно пятно. Лишь благодаря высокому качеству телескопа и ясному небу обсерватории Ла-Силья (угловой размер изображений звезд составляет всего 0.7") удалось получить отдельные спектры галактики-линзы и всех четырех миражей квазара.

Построив математическую модель объекта, исследователи обнаружили, что одно из четырех изображений квазара в 2.5 раза ярче теоретического прогноза, и предположили, что его яркость усилил

эффект микролинзирования, уже неоднократно наблюдавшийся в нашей Галактике. В этом случае роль дополнительной гравитационной линзы играет отдельная звезда или тесная группа звезд. Если это так, то звезда-линза, разумеется, принадлежит самой галактике-линзе.

Среди десятков известных гравитационных линз объект RXS J1131-1231 отличается уникальной полнотой явления, демонстрируя четыре отдельных изображения квазара, его родительскую галактику в виде кольца Эйнштейна, галактику-линзу и, возможно, эффект микролинзирования. Благодаря относительной близости объект довольно ярк и виден не только в оптическом, но также в рентгеновском и радиодиапазонах. В ближайшее время он будет исследован всеми крупнейшими телескопами — прежде всего для выяснения структуры галактики-линзы и, в случае переменности блеска, — для измерения постоянной Хаббла. Детальнее с исследованиями гравитационных линз можно ознакомиться в Интернете ([www.astro.ulg.ac.be/GRech/AEOS/](http://www.astro.ulg.ac.be/GRech/AEOS/)). ESO Press Release 19/03. 16 July 2003.

## Астрономия

### Комета Галлея снова видна

Не удивляйтесь: знаменитая комета Галлея не повернула назад. Пройдя в феврале 1986 г. рядом с Солнцем, она до сих пор продолжает удаляться к границам планетной системы, чтобы вновь вернуться к нам в начале 2062 г. Сейчас комета находится на расстоянии более 4 млрд км (28 а.е.) от Солнца, недалеко от орбиты Нептуна. Но и на этом расстоянии астрономы смогли ее увидеть, используя самые мощные из существующих сегодня телескопов.

После предпоследней встречи с кометой Галлея в 1910 г. астрономы вооружились сильными телескопами и в начале 80-х уже ждали ее появления. Первым обнаружил комету в 1982 г. американский астроном Д.Джюит (D.Jewitt),

используя 5-метровый Паломарский рефлектор. Тогда комета находилась на расстоянии 11 а.е. от Солнца и стремительно приближалась. Многим памятна замечательная встреча с ней в марте 1986 г., когда комету изучала целая флотилия космических зондов, а аппараты «ВЕГА-1 и -2» (СССР) и «Джотто» (Европейское космическое агентство) сблизилась с ядром кометы и впервые передали изображения этой темной ледяной глыбы, фонтанирующей потоками газа и пыли. Комета пролетела, сенсация улеглась, но астрономы год за годом продолжали следить за ее движением.

Уточнить параметры орбиты и регистрировать затухание активности становилось все труднее по мере удаления кометы от Солнца: ее ядро остывало, газовые фонтаны прекратились, голова и хвост исчезли, а темную 10-километровую глыбу обнаружить вдали от Солнца было нелегко. Проводы кометы Галлея в 76-летнее путешествие к границам Солнечной системы оказались весьма драматичными. Одно время даже возникло подозрение, что комета погибла: снимок от 14 февраля 1991 г., когда она была на расстоянии 14.3 а.е. от Солнца, зафиксировал вспышку, яркость которой в 300 раз превосходила ожидаемую яркость кометы на таком расстоянии. По-видимому, из ядра было выброшено пылевое облако. После этого несколько лет не удавалось получить ни одного изображения кометы Галлея. Подозревали, что ее вспышку вызвало столкновение с неизвестным телом, которое могло привести к полному разрушению ядра.

Однако этого не случилось. Используя чувствительные приборы 3.6-метрового Телескопа новых технологий (NTT) Европейской южной обсерватории Ла-Силья (Чили), комету Галлея увидели в 1994 г. на расстоянии 18.8 а.е. от Солнца; она имела блеск 26.5 звездной величины. Лучших телескопов в те годы не было, поэтому вскоре комета вновь стала недоступной для наблюдений. Но в 2003 г. ее обнаружили уже на

расстоянии 28.06 а.е. от Солнца<sup>1</sup>. Никогда еще на таком большом расстоянии кометы не наблюдали. Это удалось сделать с помощью Очень большого телескопа (VLT) Европейской южной обсерватории Сьерро Параналь (Чили). Для поиска кометы Галлея группа астрономов под руководством О.Айно (O.Hainaut), специалистов по поиску транснептуновых объектов (а за орбитой Нептуна их обнаружено уже более 600), использовала одновременно три из четырех 8.2-метровых «глаза» этого сложного телескопа. Но даже при этом им пришлось копить свет три ночи подряд — блеск кометы был рекордно низким, всего 28.2 звездной величины.

Снимки той области неба, где ожидали увидеть комету, были получены еще в марте 2003 г. Полная экспозиция составила 9 ч, но ни на одном из восьми десятков кадров, снятых за это время, комета не была видна непосредственно. Лишь после сложения всех кадров с учетом ожидаемого перемещения кометы по орбите ее слабое изображение появилось среди множества ярких следов звезд, галактик и спутников Земли, пролетавших перед объективами телескопов. Изображение кометы при этом оказалось именно в том месте, где и ожидалось, исходя из расчета траектории; ошибка составила менее одной угловой секунды.

Чтобы оценить трудности проделанной астрономами работы, достаточно привести такой пример: сфотографировать 10-километровую глыбу кометного ядра, отражающую всего 4% солнечного света и удаленную на 4.2 млрд км, не легче, чем сфотографировать 5-сантиметровый кусочек угля, удаленный на 20 тыс. км, да еще в условиях сумеречного освещения (ведь там, где сейчас летит комета Галлея, солнечный свет в 800 раз слабее, чем около Земли). К 2023 г. комета доберется до афелия своей орбиты, на расстоянии 35 а.е. от Солнца, и начнет свой путь назад. Поскольку в самой уда-

ленной точке комета будет светиться лишь в 2.5 раза слабее, чем сейчас, астрономы не сомневаются, что смогут проследить ее поведение на всех участках орбиты. Можно считать, что подготовка к следующей встрече с ней уже началась.

© Сурдин В.Г.,  
кандидат физико-  
математических наук  
Москва

## Планетология

### Подземные воды Марса

В НАСА США поступили данные, полученные от нейтронного детектора HEND (High Energy Neutron Detector), который разработан специалистами Института космических исследований РАН (Москва) и установлен на борту орбитального аппарата «Mars Odyssey». Данные свидетельствуют о том, что на значительной части марсианской области Терра Арабия под поверхностью скрыты крупные скопления соединений водорода, скорее всего — воды. Такие же залежи обнаруживаются и в безымянной пока области вдоль марсианского меридиана 180° в.д. В обоих случаях они, вероятно, перекрыты тонким слоем иссушенного грунта, содержащего очень малое количество влаги. Помимо этого, приборы зафиксировали значительные объемы подповерхностной влаги в форме смеси льда с твердыми частицами, которые, возможно, находятся там в замороженном виде в течение последних миллиардов лет. По-видимому, часть льда, растаяв, вышла в свое время в жидком виде на поверхность Марса, образуя области, пригодные для жизни в той или иной форме.

Установлена широтная зависимость отложений снега в зимний сезон, отмечающаяся на поверхности Северного полушария планеты. Нижняя часть богатого льдом слоя содержит от 50 до 70 весовых процентов воды. Это говорит о том, что мелко залегающий подповерхностный слой в полярных широтах Северного

<sup>1</sup> ESO Press Photo 27a-c/03, 1 September 2003.



полушария содержит заметно большее количество воды, чем это имеет место в Южном полушарии.

В то же время приборы на борту орбитального аппарата «Mars Global Surveyor» собрали информацию, указывающую на то, что из недр Марса в результате взаимодействия с глубинной раскаленной лавой поднимаются к поверхности солонатовые воды. Вероятно, они и образуют остающиеся до сих пор загадочными темные полосы, наблюдаемые кое-где на горных склонах вблизи экватора. Spaceflight. 2003. V.45. №4. P.139 (Великобритания); Science. 2003. V.300. №5628. P.2081 (США).

### Организация науки. Математика

#### Первый абелевский лауреат

В апреле 2003 г. состоялось первое вручение премии им.Нильса Хенрика Абеля (N.H.Abel), выдающегося норвежского математика (1802—1829), скончавшегося в 26-летнем возрасте в нужде и болезнях. Его вклад в теории Галуа, алгебраических функций, интегрального исчисления, в математический анализ невозможно переоценить.

Теперь, когда заслуги Абеля перед наукой получили всемирное признание, норвежское правительство учредило ежегодную крупную премию его имени, которая и по престижности, и по своим денежным размерам (эквивалентна 826 тыс. долл. США) не должна уступать Нобелевской, инициатор которой, увы, проявлял к математике весьма прохладное отношение.

Первым лауреатом Абелевской премии стал 77-летний французский математик Жан-Пьер Серр (F.P.Serre). Норвежская академия наук и литературы, которой правительство страны поручило принимать подобные решения, отметила этим незаурядный вклад Серра, профессора Коллеж-де-Франс (Париж) в топологию, алгебраическую геометрию и теорию чисел. Science. 2003. V.300. №5617. P.247 (США).

### Физика. Радиология

#### Трагедия Хиросимы: новые исследования

В 2002—2003 гг. японо-американская группа специалистов во главе с биофизиками-радиологами М.Хоси и Р.Янгом (M.Hoshi, R.Young) при участии 40 ученых из стран Европейского Союза проанализировала последствия атомной бомбардировки Хиросимы в 1945 г. Проведена переоценка радиодозиметрических уровней и их воздействия. Исследования, в отличие от выполненных в Хиросиме и Нагасаки в 1986 г., были проведены по новым методикам с использованием усовершенствованной аппаратуры, а главное, включали рассмотрение воздействия радиации, возникающей как от быстрых нейтронов с высокими энергиями, так и от тепловых, низкоэнергетических нейтронов (главным источником радиации при бомбардировке было гамма-излучение).

Результаты дозиметрии были сопоставлены с медико-эпидемиологической информацией, что позволило создать базу данных, описывающих влияние радиации на людей в различных условиях. По-новому оценены сила взрыва, его высота над земной поверхностью, расположение эпицентра, уточнены экранирующие от радиации эффекты (пересеченность местности, высота здания и т.п.). Проведен новый (частично — впервые) анализ интенсивности радиации, исходящей от обломков различных материалов, подвергшихся облучению при бомбардировке.

Измерения радиации, наведенной быстрыми нейтронами, выполнявшиеся по свежим следам еще в 1945 г., основывались на анализе изотопов серы и охватывали только округу до 700 м от эпицентра взрыва; о районах большей удаленности судили лишь оценочно — по измерениям изотопов других элементов, возникающих в результате облучения тепловыми нейтронами.

Группа, возглавляемая радиобиологом Т.Страуме (T.Straume;

Медицинская школа при Университете штата Юта в Солт-Лейк-Сити), при участии 12 специалистов из научных учреждений Германии и США разработала новый метод оценки величины наведенной радиации, который основан на реакции превращения  $^{63}\text{Cu}$  в  $^{63}\text{Ni}$  под воздействием быстрых нейтронов. Для определения протонного состава Ni в медьсодержащих объектах, находящихся на разном удалении от эпицентра взрыва, исследователи использовали метод ускоренной масс-спектрометрии.

По мнению Страуме и его сотрудников, результаты измерений изотопа никеля подтверждают прежние оценки воздействия быстрых нейтронов. Однако, как считают иные ученые, в том числе Янг и эпидемиолог М.Литтл (M.Little; Имперский колледж в Лондоне), делать выводы на основании одного лишь никеля не следует. Между тем уже получены дозиметрические данные другими исследователями, но они пока еще не полностью обработаны и проанализированы.

Публикация вызвала широкий резонанс в кругах специалистов как по ядерной физике, так и по медицинским аспектам радиационного облучения.

Science. 2003. V.301. №5634. P.742 (США); Nature. 2003. V.424. №6948. P.539 (Великобритания).

### Этология

#### «Культурные» традиции орангутанов

Считалось, что установление традиций (передаваемых из поколения в поколение обычаями и нормами поведения) свойственно лишь человеческим сообществам. Однако, по данным международной группы исследователей во главе с К.П.ван Схайком (C.P.van Schaik; Дьюкский университет в Дареме, штат Северная Каролина, США), такой способностью обладают и другие гоминиды. Изучив поведение шимпанзе в девяти регионах Африки, ученые установили, что в каждой популяции этих приматов — свои традиции (их выявлено 39). Спи-

сок обычаев индонезийских орангутанов из шести популяций, за которыми ученые наблюдали в течение четырех лет, не так велик (всего 19), но они столь оригинальны, что о некоторых стоит рассказать подробнее<sup>1</sup>.

Так, на о.Суматра орангутаны, живущие в лесу Суак-Балимбинг, добывают воду из глубокого дупла, погружая туда пышную ветвь, а затем капая с нее себе в рот. А вот несколько примеров, относящихся к орангутанам из разных лесов о.Борнео. Приматы из Кинабатангана перед сном всегда шипят. Их соплеменники из Кутай умеют почесывать недоступные части тела с помощью палочки. У обитателей Танджунг-Путинга сразу две особенности: во-первых, обезьяны сильно раскачивают сучок дерева со съедобными плодами, пока он не обломится, а затем подхватывают его на лету; во-вторых, вытирают себе морду зажатými в кулаке листьями. В Кулунг-Палунге приматы используют приложенные к рту листья в качестве усилителя звука.

Очевидно, что обезьяны обучаются навыкам друг от друга<sup>2</sup>, и в тех группах, где их общительность выше обычного, поведенческий репертуар богаче.

До сих пор считалось, что появление традиций у гоминид относится к эпохе, когда существовал общий предок шимпанзе и человека. Новые данные отодвигают это событие до времени расхождения линий азиатских и африканских человекообразных обезьян (14 млн лет назад).

Science. 2003. V.299. №5603. P.27, 102 (США).

### Экология. Охрана природы

#### Малонарушенные лесные территории России

М.Л.Карпачевский и А.В.Зименко (Центр охраны дикой природы, Россия) проанализировали сохранность малонарушенных лес-

ных территорий (МЛТ), играющих существенную роль в регулировании мирового климата. Рассматривались ландшафты площадью более 50 тыс. га, которые внутри не имеют поселений и действующих транспортных коммуникаций, иначе говоря, представляют собой природные экосистемы, не затронутые интенсивной хозяйственной деятельностью за последние 60 лет.

МЛТ — крупнейшие резервуары органического углерода, который накапливался в растительной биомассе и почве в течение сотен и тысяч лет; около 50% такого углерода оказались надолго «консервированными» в естественных условиях. Хотя нарушенные человеком экосистемы могут иметь высокие темпы накопления органического углерода, в то же время они иногда отличаются более низкими запасами общего, так как рубки леса, расчистки под пашню и пр., как правило, провоцируют эрозию и ускоренную минерализацию органического вещества. Для малонарушенных лесных ландшафтов характерен режим естественных пожаров, хозяйственное же их освоение резко (в 5—10 раз) увеличивает их частоту и интенсивность. Даже по данным официальной статистики, в Сибири и на Дальнем Востоке ежегодно сгорает 0.5—2 млн га леса.

Анализ сохранности МЛТ (в рамках проекта «Лесная вахта России»), основанный на материалах дистанционного зондирования, показал, что общая площадь таких территорий в России составляет 280 млн га, или всего 26% площади страны. Малонарушенные лесные территории распространены чрезвычайно неравномерно, почти половина из них находится в пяти сибирских регионах: Республике Саха (Якутия), Эвенкийском АО, Красноярском крае, Ханты-Мансийском АО и Иркутской обл. К сожалению, только 5% МЛТ включено сегодня в состав особо охраняемых природных территорий федерального уровня.

Всемирная конференция по изменению климата. Тезисы докладов. М., 2003. С.407 (Россия).

#### Эволюция подводных каньонов Австралии

Австралия — самый плоский из всех континентов, однако это справедливо, когда речь идет о суше. Рельеф ее морского дна чрезвычайно изрезан: здесь глубины в 5 тыс. м перемежаются высокими горными вершинами, скрытыми под водой. Система подводных ущелий, начинающихся от устья величайшей в Австралии р.Муррей (Марри), превосходит по глубине знаменитый Большой Каньон на р.Колорадо в штате Аризона, глубина которого более 1.5 км. Геология и геоморфология этой подводной провинции все еще недостаточно изучены.

В феврале—марте 2003 г. здесь была проведена международная экспедиция AUSCAN (Australian Canyon expedition). Основная ее цель — собрать информацию об эволюции подводных каньонов и краин континента, а также найти свидетельства климатических изменений, постигавших регион в позднечетвертичную эпоху. Зафрахтованное французское исследовательское судно «Marion Dufresne» было оборудовано по последнему слову техники. Это крупнейшее в научном флоте Франции судно (длина корпуса около 120 м) принадлежит Полярному институту в Париже. На его борту работало 40 ученых и техников из Австралии, США, Франции, Германии и некоторых других стран.

Исследования начались с акватории вокруг островного австралийского штата Тасмания, затем были перенесены к подводному продолжению русла р.Муррей и завершены в Большом Австралийском заливе, где воды Индийского океана омывают южный берег континента. Судно прошло около 9 тыс. миль, при этом на карту было нанесено примерно 70 тыс. км<sup>2</sup> морского дна.

Особенно интересные результаты получены в области континентального склона, к югу от о.Кенгуру. Здешняя топография

<sup>1</sup> См. также: Орангутан на краю пропасти // Природа. 2001. №1. С.82.

<sup>2</sup> См. также: Учись, глядя на маму // Природа. 2001. №11. С.80.

дна начала формироваться 65 млн лет назад, когда Австралийский материк оторвался от Антарктиды. Ложе океана тут изрезано и ниспадает круче, чем на любой иной континентальной окраине Австралии: на протяжении всего около 40 км оно резко переходит от 200-метровой к 5000-метровым глубинам океана. Вдоль континентального склона тоже наблюдается внезапная смена подводного ландшафта дна: участки, изрезанные и крутые на одном отрезке (где подводные скалы могут достигать двухкилометровой высоты), вдруг превращаются в плоскую абиссальную равнину на соседнем. Обнаружены и несколько новых горных структур протяженностью более 100 км каждая.

Глубина основного каньона р.Муррей достигает 4600 м. По меньшей мере уже 30 млн лет эта река и ее правый приток Дарлинг сносят осадочные породы в море, а воды выдалбливают в дне углубления в несколько сот метров; некоторые из них тянутся на километры. Из каньона р.Муррей, где глубина составляет от 900 до 2450 м, были подняты две более чем 30-метровые ненарушенные колонки грунта. (Весьма продуктивной была работа гигантского бурового устройства типа «Calypso»<sup>1</sup>, позволяющего поднимать колонки длиной до 60 м.) Анализ керна показал, что осадки образованы оливково-серыми глинами, временами перемежаемыми мелкозернистыми песками и ракушечными обломками. Такие колонки представляют собой отличный «дневник» геологических, климатических и биологических событий, происходивших в регионе за последние 250 тыс. лет. Присутствие ископаемых микроорганизмов и растительной пыльцы рассказывает специалистам о температурах и видах растений, присутствующих там или иному периоду. Историки и археологи с интересом следят за этой работой, позволяющей судить о том, как повлия-

<sup>1</sup> См. также: Левитан М.А. Сверхдлинные колонки осадков Охотского моря // Природа. 2003. №8. С.84—85.

ло прибытие европейцев на изолированную до того момента природу материка.

AusGeoNews. 2003. №70. P.41 (Австралия).

## Сейсмология

### Кипящие фонтаны среди льдов

Недалеко от берегов Антарктического п-ова и Южного полярного круга протянулась цепочка Южных Шетландских о-вов. На юго-западном ее конце расположен о.Десепсьон, что на языке латиноамериканских первооткрывателей значит Обманчивый. Издавна он служил сезонным опорным пунктом для китобоев, державших в погоне за морскими великанами проникать в эти негостеприимные воды, покрытые плавучими льдами.

Островок имеет необычную форму, больше всего напоминающую подкову. Войдя через узкий пролив, судно укрывалось от ветров в бухте Порт-Фостер. После запрещения китобойного промысла единственным населением (и то не постоянным, а «вахтовым») являются аргентинские и испанские полярники. Их интерес к неприятному клочку суши вызван тем, что в сущности это древний вулкан, опирающийся на дно пролива Дрейка, где встречаются воды Тихого и Атлантического океанов. Сейчас семикилометровая по диаметру кальдера вулкана целиком залита морской водой, которая и образует залив Порт-Фостер глубиной до 190 м, что достаточно для судна с любой осадкой.

Дремлющий вулкан не дает, однако, забывать о своем природном норове: почву часто сотрясает рой мелких землетрясений, а из недр во многих местах бьют ключи кипящей воды. В апреле 2003 г. на остров высадился научный десант из аргентинских и испанских геофизиков, возглавляемых сейсмологом А.Т.Казелли (А.Т.Caselli; Антарктический институт при Университете Буэнос-Айреса). Они развернули небольшую, но вполне современную сеть сейсмических станций, которые автоматически

регистрируют даже слабый подземный толчок. Уже зафиксировано более 60 вулканотектонических землетрясений, возбуждавших длиннопериодные волны. Некоторые рои землетрясений длились по 8 ч подряд. Изучив сейсмограммы, геофизики пришли к выводу: многие из толчков порождены тем обстоятельством, что южнополярным летом льды, покрывающие обычно большую часть острова водой, тают и просачиваются в недра, где, соприкасаясь с магмой, испаряются, и пар взрывообразно вылетает на поверхность. Пока эти процессы идут не слишком активно и жизни сотрудников близлежащих полярных станций не угрожают.

Непривычными среди льдов выглядят многочисленные фумаролы — выходы горячих вулканических газов и пара из трещин и расселин. Около одной из них, получившей название Фумарола-Бей (fuma по-испански — дым), температура фонтанирующей воды превышает 100°C; в других местах термометры показывают от 40 до 95°C. Выбросы газов состоят в основном из водяного пара (95%), CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S. Вокруг расселин почва покрыта элементарной серой, пиритами (FeS<sub>2</sub>) и лапилли — округлыми камешками, вылетевшими вместе с газами из недр; их слой достигает нескольких сантиметров. Ученые установили, что на образование такого слоя ушло около 9 тыс. лет. Таков же возраст тонких отложений пепла, который ветрами заносит отсюда на близлежащие острова и более удаленный Антарктический п-ов. Но сколько времени продлится спокойствие Десепсьона, сказать трудно.

Bulletin of the Global Volcanism Network. 2003. V.28. №6. P.3 (США).

## Геофизика

### Вулканы предстают в новом свете

Греческий островок Нисирос (юго-запад Эгейского моря), на котором собрались геофизики, сейсмологи, вулканологи, геохимики, петрологи из Германии,

Италии, Швейцарии и, конечно, Греции, превратился в научно-техническую лабораторию. Здесь разрабатывается международный проект «Geowarn», на реализацию которого специалисты возлагают большие надежды по части заблаговременного предупреждения людей, живущих вблизи вулканов, о грозящей опасности. Совместными усилиями создан пакет компьютерных программ, объединяющих в единые временные рамки данные о состоянии и поведении подземных сил в районе вулкана. Информация выдается в виде трехмерной карты, что позволяет делать прогноз при первых признаках приближающегося извержения.

Проект «Geowarn» включает использование спутниковой системы GPS (Global Positioning System), а также оборудования спутниковой радиолокационной интерферометрии, которая с высокой точностью позволяет определить время прохождения микроволнового сигнала, направленного с борта ИСЗ к Земле, и, следовательно, установить деформацию поверхности в размере до нескольких миллиметров. Привлекаются также данные о составе газов, выделяющихся в атмосферу, температуре и электропроводности вод в горячих источниках на склонах горы, о характере сейсмической активности. Вся эта информация использовалась вулканологами и ранее, но теперь она предстает в комплексном трехмерном компьютерном виде и в реальном времени.

Остров Нисирос представляет идеальным полигоном для опробования системы «Geowarn». Геологи установили, что он имеет вулканическое происхождение, но за последние 20 тыс. лет крупномасштабных событий не было, лишь в XIX в. произошло несколько мелких выбросов из гидротермальных источников, а слабые подземные толчки в период 1996—1998 гг. говорят о вероятном медленном пробуждении вулкана. Установлено, в частности, что магма хотя и поднималась к поверхности, но при этом существенно теря-

ла свою энергию, а значит, в ближайшее время реальной опасности извержения нет.

Головной группе проекта — сотрудникам Швейцарского федерального технологического института в Цюрихе под руководством директора Картографического института Л.Хурни (L.Hurny) — удалось совместить цифровые трехмерные карты с мощной обрабатывающей системой, обычно применяемой картографами и другими «полевыми» при создании опорной модели для введения в машину и представления на дисплее. Натурное испытание «Geowarn» продолжается.

Аналогичная система VALVE (Volcano Analysis and Visualization Environment) разрабатывается коллективом Гавайской вулканологической обсерватории в Гонолулу (США) под руководством Д.Суонсона (D.Swanson). Она сводит воедино всю информацию, характеризующую деятельность вулкана Килауэа на о.Гавайи.

Как VALVE, так и «Geowarn» могут быть приспособлены к использованию практически на любом вулкане суши.

Science. 2003. V.299. №5615. P.2026 (США).

### **Вулканология. Климатология**

#### **Вулканы инициируют Эль-Ниньо?**

Американские климатологи-статистики Б.Адамс и М.Манн (B.Adams, M.Mann; Национальный центр атмосферных исследований в Боулдере) провели статистический анализ сведений относительно Эль-Ниньо за последние 300 лет и сопоставили их с данными об активности вулканов за тот же отрезок времени в тропической зоне Тихого океана. Учитывались гляциологические показатели количества вулканической пыли, осевшей в ледниковых покровах, и геологические свидетельства силы взрыва при каждом извержении.

Было идентифицировано около 20 достаточно сильных извержений в тропиках. О состоянии

климата в соответствующие периоды судили по ширине годовых колец на спилах деревьев, произрастающих главным образом в Мексике: во время потеплений (эффект Эль-Ниньо) кольца становятся шире. Установлено, что вероятность наступления Эль-Ниньо в первый же год после крупного извержения в тропической зоне примерно вдвое выше средней величины. Обычно вероятность сильного потепления вод Тихого океана с сопутствующими ему глобальными климатическими изменениями составляет лишь около 20%, но в году, который следует непосредственно за мощным извержением, возрастает до 40%, что обнаруживает довольно высокую корреляцию.

Специалист по математическому моделированию климата М.Кейн (M.Cane; Обсерватория Ламонта и Доэрти по изучению Земли, Палисейдс) и Э.Клемент (A.Clement; Университет в Майами) вопреки мнению многих коллег пришли к выводу, что глобальное потепление не в силах еще больше повысить температуру тропической акватории Тихого океана, что свойственно для Эль-Ниньо. Они утверждают, что рост температуры над тропической частью Пацифики должен, наоборот, вызывать устойчивую тенденцию к состоянию, характерному для Ла-Нинья — потеплению на западе с похолоданием на востоке. Возникающий именно в восточных акваториях подъем глубинных холодных вод к поверхности стабилизирует температуру и противостоит потеплению; таким образом, процесс потепления происходит в тропиках западной части Тихого океана, увеличивая, а не уменьшая, разницу между температурами на востоке и на западе.

Развивая эти мысли, Манн отмечает, что похолодание, которое провоцируется в нижних слоях атмосферы изверженными вулканическими продуктами, блокирующими поступление солнечной энергии, должно приводить к понижению температур на востоке Пацифики в меньшей степени, чем на западе. Тем самым темпера-

турная разница между обоими акваториями сокращается и возникает ситуация, напоминающая широкомасштабное потепление типа Эль-Ниньо.  
Science. 2003. V.299. №5605. P.337 (США).

### Климатология

#### Эль-Ниньо и засухи в Азии

Специалисты из Диагностического центра климатологии в Боулдере (штат Колорадо) и Центра прогнозов климата при Национальной метеослужбе США в Кемп-Спрингсе, входящих в систему Национального управления США по изучению океана и атмосферы, исследовали причины жестокой засухи 1998—2002 гг., которая охватила огромные просторы в Северном полушарии — юго-восточную часть США, Южную Европу и Юго-Западную Азию<sup>1</sup>. Анализ компьютерных моделей, построенных этими коллективами независимо друг от друга, показал, что истоки бедствия кроются в тропической части Тихого океана, где развивалось явление Эль-Ниньо — резкое потепление поверхностных морских вод и атмосферы над ними. Выявлена четкая статистическая взаимосвязь между интенсивностью Эль-Ниньо, с одной стороны, и сокращением количества осадков и ростом температур в перечисленных регионах — с другой.

В 2003 г. благодаря противоположному явлению — Ла-Нинья (существенному похолоданию в той же акватории) — глобальная засуха пошла на убыль. Компьютерные модели отразили и этот процесс. Столь широкомасштабное математическое изучение климатологических связей как непосредственно в ходе события, так и вслед за ним проведено впервые<sup>2</sup>.

Однако, несмотря на выпадение осадков, прилегающие к Индийскому океану западные акватории

Пацифики в феврале 2003 г. все еще оставались разогретыми выше средней многолетней нормы. Поэтому специалисты Международного института прогноза погоды не исключают, что избыток тепловой энергии нарушит обычный ход событий и зимой насыщенные влагой воздушные потоки отклонятся от Иракско-Пакистанского региона. Повышение температур в западной части Тихого океана наблюдается с 1970-х годов и, возможно, еще продлится. По-видимому, это связано с общим глобальным потеплением, вызванным парниковым эффектом. В таком случае засухи в Центральной и Юго-Западной Азии, а также на юго-востоке США станут постоянными.

Science. 2003. V.299. №5607. P.636, 691 (США).

### Климатология

#### Климатические экстремумы в Европе

Е.А.Черенкова и М.М.Чернавская (Институт географии РАН) проанализировали пространственные и временные особенности формирования климатических экстремумов (самых высоких и низких температур, ураганной скорости ветра и т.п.) за последнее тысячелетие. В качестве источников они использовали исторические свидетельства начиная с XI в. и регулярные инструментальные наблюдения с XIX в. На основе этих данных, дифференцированных по крупным регионам (Русская равнина, Балтика, Средиземноморье, Центральная и Восточная Европа, Северная Атлантика) создан электронный архив, включающий около 3 тыс. описаний, каждое из которых содержит информацию об одном или нескольких экстремальных событиях и их социально-экономических последствиях.

Разработана методика представления, хранения и обработки данных, составлены словари ключевых слов, таблицы соответствия старославянских терминов современным. Такая система позволяет

оперативно найти интересующие исследователя данные, выявить и изучить региональные проявления изменений климата в наблюдавшейся динамике повторяемости, интенсивности и продолжительности действия климатических экстремумов.

Всемирная конференция по изменению климата. Тезисы докладов. М., 2003. С.383 (Россия).

### Климатология

#### Изменчивость атмосферы над Южной полярной областью

Заметный рост температуры в Антарктиде — один из важных индикаторов глобального потепления. Для определения вклада, который вносят в наблюдаемые изменения климата атмосферные процессы различных временных масштабов (от синоптических до межгодовых колебаний), в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (Санкт-Петербург) проведен статистический анализ температуры, давления, скорости ветра и количества осадков, зафиксированных на российских антарктических станциях.

Линейный тренд среднегодовой температуры на станции Беллинсгаузен составляет около 1°С за 34-летний период. Для количественной оценки локальных изменений климата были использованы данные приземных измерений на этой станции с марта 1968 г. по июль 2003 г. Результаты сопоставлены с оценками трендов температуры на других станциях, различающихся по климатическим условиям, в том числе с показаниями станций Мирный и Восток в центральной и восточной частях Антарктиды.

В итоге сформирован полный архив климатических данных российских антарктических станций. Выявлено значительное влияние синоптических возмущений на формирование региональных климатических трендов. Показано, что возможные причины роста температуры над Антарктическим

<sup>1</sup> См., напр.: Засуха в США // Природа. 2003. №5. С.87.

<sup>2</sup> См. также: Совершенствуется прогноз явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья // Природа. 2002. №12. С.79.

п-овом связаны с преобладанием меридиональной крупномасштабной циркуляции в атмосфере, с региональным усилением циклонической и океанической активности.

Всемирная конференция по изменению климата. Тезисы докладов. М., 2003. С.416 (Россия).

## Палеонтология

### Баиноцератопс Ефремова — рогатый динозавр Монголии

Во время каталогизации коллекции остатков рогатых динозавров из семейства Protoceratopidae, хранящейся в Палеонтологическом институте РАН, мы обратили внимание на серию позвонков из разных отделов единого позвоночного столба (экземпляр №614-33). Образец был найден на местонахождении Баин-Дзак (Южная Гоби) участниками экспедиции нашего института в Монголию в конце 1940-х годов под руководством И.А.Ефремова. В фондах института позвонки хранились под определением «*Protoceratops andrewsi*», единственной массовой формы рогатых динозавров из отложений джадохтской свиты (поздний мел) Центральной Азии.

Первая находка (череп) ящера этого вида была сделана на том же местонахождении в 1922 г. Центрально-Азиатской экспедицией Американского музея естественной истории (Нью-Йорк). Позже американским палеонтологом удалось собрать большую коллекцию черепов и скелетов протоцератопсов из Баин-Дзака. Теперь эта форма упоминается в литературе в связи с находками ее остатков на ряде местонахождений Монголии и Китая. Лучшие и самые многочисленные материалы собраны в урочище Тугрикийн-Ширэ, расположенном на расстоянии нескольких десятков километров от Баин-Дзака.

Самый предварительный осмотр образца №614-33 выявил своеобразие строения некоторых позвонков и вызвал желание перепроверить первичное определение. Тщательное исследование бо-



Географическое положение местонахождения Баин-Дзак (показано звездочкой) в Монголии с остатками баиноцератопса Ефремова.

лее полутора десятков протоцератопид из коллекции ПИНа показало, что изучаемый экземпляр, принадлежащий взрослой особи, которая достигала при жизни 2.5 м, отличается и от протоцератопса Эндрюса, и от всех представителей семейства, для которых известны данные по посткраниальному скелету, целым рядом признаков, на основании которых удалось описать новый род и вид под названием *Bainoceratops efremovi*<sup>1</sup>.

Сравнительный анализ показывает, что баиноцератопс Ефремова более всего близок к уданоцератопсу (*Udanoceratops*) из джадохтских отложений Монголии и лептоцератопсу (*Leptoceratops*) из маастрихтских отложений Северной Америки. Обе эти формы в составе протоцератопид представляют самостоятельную филогенетическую линию, которая отличается от протоцератопса и его ближайших родственников большей архаичностью. Интересно, что большинство видов протоцератопид имеют небольшие размеры, не более 1.5 м в длину. Взрослые особи протоцератопса Эндрюса (как и баиноцератопса) достигали 2.5 м, но самый крупный представитель семейства — уданоцератопс, длина его тела доходила до 4 м.

<sup>1</sup> Подробнее см.: Терещенко В.С., Алифанов В.Р. // Палеонтол. журн. 2003. №3. С.71—80.

Расцвет азиатских протоцератопид относится к джадохтскому времени, когда представители этого семейства достигли не только гигантизма, но и существенно таксономического разнообразия. Не исключено, что число джадохтских форм еще больше — это может быть связано не только с находками остатков новых форм, но и с ревизией материалов по *P.andrewsi*, который, судя по осевому скелету, представляет собой конгломерат нескольких родственных видов.

**Работа поддержана грантом Миннауки НШ-1840.2003.4 (научная школа академика А.П.Татарина).**

© Алифанов В.Р.,  
кандидат биологических наук  
Терещенко В.С.,  
Палеонтологический  
институт РАН  
Москва

## Палеоантропология

### Южноафриканские гоминиды сильно постарели

Пещеры в районе Стеркфонтейна, что в 50 км к юго-западу от Йоханнесбурга (ЮАР), по праву считаются одним из мест зарождения человечества: здесь найдено

около двух третей из почти 500 фрагментов останков пралюдей, обнаруженных на всех континентах с 1936 г. Среди южноафриканских находок есть как отдельные детали, так и довольно комплектные части окаменелых скелетов *Australopithecus africanus*, *A. robustus* и других предков *Homo sapiens*. Вокруг них идет ожесточенная дискуссия: одни специалисты считают, что останкам около 1.5 млн лет, другие — 3.5 млн. Так, палеоантрополог Р.Кларк (R. Clarke) палеомагнитным методом определил возраст австралопитека по имени Мелконог<sup>1</sup> не менее чем в 3.3 млн лет. Это означает, что он был современником знаменитой Люси, жившей в Восточной Африке, т.е. австралопитеки уже тогда обитали во многих районах континента.

Геолог Д.Грейнджер (D. Granger; Университет Пердью, штат Индиана, США) предложила принципиально новый в палеонтологии метод датировки по нестабильным изотопам бериллия и алюминия, которые рождаются при бомбардировке поверхности Земли космическими частицами. Чем древнее геологическая порода, тем больше таких изотопов она содержит. Новая датировка скелета Мелконога показала возраст  $4.17 \pm 0.35$  млн лет. Получается, что он — современник не Люси, а ее далеких предков — австралопитеков анаменских (*A. anamensis*)<sup>2</sup>, населявших Восточную Африку 4 млн лет назад. Однако Кларк утверждает,

<sup>1</sup> Подробнее см.: Кем был Мелконог? // Природа. 2001. №1. С.83—84.

<sup>2</sup> Виноградов Г.М. Наше фамильное древо снова ветвится // Природа. 2002. №3. С.73—76.

что строение скелетов Мелконога и анаменсиса слишком различаются, чтобы считать их единоплеменниками.

Недавно в стеркфонтейнской пещере Джакобец были обнаружены редкостные по своей сохранности останки прачеловека. Возраст вмещающих их пород, по оценке Грейнджер, 4 млн лет. Однако палеонтолог Ф.Спур (F. Spoor; Лондонский университетский колледж) считает, что анатомическое строение находки не подтверждает столь большую древность. Кларк же и вовсе полагает, что останки принадлежат двум разным видам австралопитековых. Специалисты спорят, пригодна ли пещера Джакобец для определения возраста новым способом: часть ее кровли давно обвалилась, и возникли трещины, через которые поверхностные породы могли проникнуть вглубь и перемешаться с исследуемыми образцами. В любом случае метод Грейнджер следует проверить на какой-нибудь южноафриканской пещере, возраст которой надежно установлен другим способом.

Science. 2003. V.300. №5619. P.562, 607 (США).

## Археология

### Шумерская школа счетного искусства

Уникальные глиняные таблички — с проставленной датой и подписью Суэн-Апиль-Урима — ученика шумерского жреца — обнаружила в запасниках Оксфордского университета археолог Э.Робсон (E. Robson). Первая из них содержит примеры умноже-

ния нескольких чисел на 24, а после упражнений — благодарность, обращенную к шумерским богам Нисабе и Эа. Впрочем, радость ученика оказалась преждевременной: работа была выполнена с ошибками, и через четыре дня ее пришлось переделать уже на другой табличке. Теперь умножение удалось произвести безукоризненно, однако на этот раз ученик возблагодарил лишь Нисабу.

Из расшифровки табличек следовало, что в шумерском поселении Ларса (юго-восток нынешнего Ирака) существовала школа писчего и счетного искусства, выпускники которой впоследствии занимали важные религиозные и светские посты. Понятными стали и способы вычисления во времена, когда арабские цифры еще не были изобретены.

И вот другая находка: табличка, написанная рукой все того же Суэн-Апиль-Урима, обнаружена в США, в хранилищах Йельского университета в Нью-Хейвене! Здесь ученик тренируется уже в умножении на 4. «Уже» — потому, что по шумерской системе обучения эта задача не предшествовала операции с двузначным числом, а, наоборот, следовала за ней. Изучение этой таблички позволило не только подтвердить и уточнить датировку школьных упражнений будущего жреца — почти точно 1815 г. до н.э., — но и выяснить, что переход к умножению на 4 занял у Суэн-Апиль-Урима около полугода.

Интересно, что спустя четыре тысячелетия скажут наши потомки о сегодняшней высшей математике?

Science. 2003. V.299. №5507. P.650 (США).

# Одиссея подводного флота России

**А.П.Лисицын,**

*доктор геолого-минералогических наук  
Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН  
Москва*

**К**нига, о которой идет речь, повествует о завоевании человеком океанских глубин — события намного менее известном, чем завоевание высот космоса. Это правдивое и захватывающее повествование не только о проникновении ученых на глубины океана (до 6 тыс. м и более), но и о планомерных исследованиях, картировании, о гигантском шаге человечества в глубину.

А.М.Сагалевич — человек уникальный во многих отношениях. В настоящее время он самый опытный в мире пилот-подводник (гидронавт) — на его счету более 2 тыс. часов, проведенных под водой на глубинах до 5—6 тыс. м в научно-исследовательских путешествиях по всем морям и океанам. Доктор технических наук Сагалевич участвовал в создании наиболее совершенных глубоководных аппаратов — «Мир-1» и «Мир-2», которые принадлежат Российской академии наук.

## Путь к открытиям

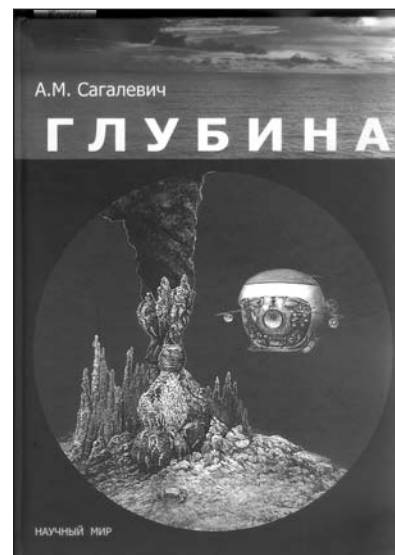
Век обитаемых подводных аппаратов начинается 28 октября 1948 г., когда инженер О.Пикар и биолог Т.Моно в первом обитаемом подводном аппара-

те-батискафе достигли глубины 1515 м. Ранее на глубины немногим более 1 тыс. м удавалось проникать только в батисфере, соединенной тросом с судном-базой.

Примечательно, что именно профессор Пикар создал стратостат и батискаф: поднялся на высоту 16.4 км (в 1932 г.), а затем расширил вертикальный диапазон уже вниз на 1.5 км. Казалось, что совершенствование батискафов — главный путь проникновения на большие глубины. Действительно, удалось достигнуть максимальной глубины океана в Мариинской впадине — 10 916 м. Это сделали 23 января 1940 г. сын профессора Ж.Пикар и американский офицер Д.Уолш.

Батискафы — это гигантские аппараты, с главной частью — поплавком, заполненным бензином (около 200 т), под которым находится маленькая стальная сфера. Работа с батискафами в море была очень опасной, поскольку аппараты обладали слабой маневренностью и были практически слепыми у дна. Особенно велика была опасность пожара.

Век гигантов длился недолго. Спустя 15 лет они были заменены небольшими (всего 20—30 т), подвижными подводными обитаемыми аппаратами нового поколения, способными на первых



**А.М.Сагалевич. ГЛУБИНА.**

*М.: Научный мир, 2002. 320 с.*



этапах погружаться на глубины до 2—3 тыс. м. Самые известные среди них — подводные обитаемые аппараты (ПОА) «Пайсис», которые были построены в Канаде и много лет использовались Институтом океанологии РАН. В 70—80-е годы в нашей стране также были построены и успешно работали несколько подводных аппаратов. На ПОА «Аргус» удалось выполнить более 700 погружений. Были проведены исследования на оз. Байкал и на многих участках дна Атлантического, Тихого и Индийского океанов с глубинами до 2 тыс. м. В России начал создаваться подводный научно-исследовательский флот.

Под руководством академика А.С.Монина — директора Института океанологии РАН — в Геленджике был создан гипербарический комплекс, на базе которого проводились медико-биологические исследования, работы в подводном доме «Черномор». Тогда же были подготовлены водолазы-глубоководники, созданы комплексы с погружаемыми подводными колоколами для аварийных работ на глубинах в любой части Мирового океана, оборудовано несколько научно-исследовательских судов. Особенностью аппаратов «Пайсис» было то, что они могли перебрасываться на дальние расстояния самолетами. После изучения дна Байкала их направили в Анапу, затем по суше в Геленджик, а далее морем — в Индийский океан. Однако до работы на предельных глубинах этим аппаратам было еще очень далеко.

Новый шаг в покорении глубин был сделан в 1972 г., когда в США ПОА «Алвин» переоборудовали на рабочую глубину 4,5 тыс. м. Настоящий прорыв исследовательских подводных судов произошел в 1985—1990 гг., когда были построены четыре глубоководных обитаемых аппарата (ГОА) для глубин до 6 тыс. м. Эти аппараты обеспечивали исследования на 98% дна Мирового океана!

Два подводных аппарата «Мир» были созданы совместными усилиями инженеров России и Финляндии. С российской стороны работами руководил И.Е.Михальцев, а с финской — С.Руохонен, А.М.Сагалевич наблюдал за постройкой в Финляндии. Раздел книги, посвященный созданию аппаратов, читается с захватывающим интересом — это прорыв в неизведанное — здесь все было впервые, причем требования к качеству таковы, что от их соблюдения отказывались даже самые известные компании — все сделала финская фирма «Раума Репола»!

Испытания подводных аппаратов проводились на глубинах Атлантики. Пилотом в погружении был бывший летчик-истребитель из Финляндии П.Лоаксо, а приемщиками — два доктора технических наук: Сагалевич и Михальцев. Была достигнута глубина в 6120 м. Два подводных аппарата «Мир» стали принадлежать российской науке — это было в декабре 1987 г., а через три месяца после приемки мне пришлось руководить первой экспедицией с использованием этих аппаратов в гидротермальных полях и горячих источниках на дне Атлантического океана. На борту судна в том памятном рейсе находилась группа финских инженеров во главе с Руохоненом. Были сделаны важные открытия, разработаны методы геологической съемки и поисков на глубинах в 3—4 тыс. м. Постепенно создавалась оригинальная российская методика исследований с одного надводного судна (плавучего института «Академик Мстислав Келдыш») и двух подводных, насыщенных приборами, судов.

Зарубежные исследования проходят иначе. Сначала подготавливают район работы, определяют положение подводных полигонов, отбирают пробы. После этого туда посылают судно — носитель подводного аппарата (только одного!), с кото-

рого проводят серию погружений. Потом возвращаются в порт и в береговых лабораториях анализируют результаты. Таким образом, работа растягивается на много месяцев, отбор проб и их анализ производится в разное время, что особенно существенно для проб воды, взвеси и гидротермальных флюидов. Российская методика предусматривает погружение двух аппаратов с одного крупного судна — научно-исследовательского плавучего института, который имеет многочисленные лаборатории, обеспечивающие немедленное выполнение всех необходимых анализов в реальном времени — на следующие сутки после подъема аппаратов на поверхность.

Работа одновременно двух аппаратов важна не только в отношении безопасности, но и потому, что поиск занимает меньше времени: один из аппаратов, раньше обнаруживший объект, вызывает второй, и исследования проводятся более точно.

Особенно важна «система двойки» при работах с кино- и видеотехникой. Один из аппаратов оказывается осветителем, в другом помещаются камеры. Это можно видеть на примере фильма «Титаник», который снимался с ГОА «Мир-1» и «Мир-2». Сейчас технология настолько усовершенствована, что возник «русско-американский подводный Голливуд» — другого пока нет в мире!

## Мир горячих источников, рудных построек и «черных курильщиков»

Вы пробираетесь через узкий люк в маленькую (диаметром всего 2 м) сферу. Здесь в течение всего времени погружения вас будет трое — пилот, борттехник и наблюдатель. Люк завинчивается, и тяжелый кран поднимает подводный аппарат над палубой судна, затем

осторожно опускает его за борт. Аппарат касается воды и начинает качаться — он на поверхности моря, но еще соединен с судном тросом. Потом подходит резиновая лодка, водолаз отсоединяет аппарат от троса и катер оттягивает его на несколько десятков метров от судна. Все буксиры отсоединены, водолазы в легких костюмах проводят последний осмотр аппарата перед погружением, и, наконец, — команда по подводной связи: «Погружение разрешаю». Открываются клапаны, слышен шум воды, поступающей в балластные цистерны, и подводный корабль начинает погружение — прекращается качка и с каждой минутой солнечный свет меркнет, а потом — полная темнота за бортом. Мы находимся в гидрокосмосе, дальнейшее движение аппарата по всем трем координатам осуществляется только с помощью приборов. Это и бортовой компьютер, и несколько акустических маяков, которые заранее расставлены на дне в районе предполагаемых исследований. Все глубины обитаемы — здесь встречаются и креветки, и угри, и глубоководные рыбы. Через некоторое время на экране эхолота появляется поверхность дна, аппарат снижает скорость, и в лучах прожектора возникает незабываемая картина.

Крупнейшими открытиями в годы появления ГОА были тектоника литосферных плит, глобальная система срединных хребтов, где идут процессы расширения дна океана, наращивание земной коры. По флангам срединных хребтов были обнаружены осадки, в которых значительно больше металлов (в первую очередь Fe и Mn), чем в осадках близ континентов. Оказалось, что рудное вещество поступает из срединных хребтов — об этом свидетельствовало повышение его содержания в сторону гребней. Высказывались предположения о высачивании глубинных флюидов, что

частично подтверждалось значениями теплового потока — они также возрастали в сторону хребтов. Однако настоящей сенсацией было открытие с помощью ГОА горячих источников на дне (гидротермальных областей на глубинах 3—4 тыс. м) с температурой до 400°C и связанных с ними рудных построек, черных гидротермальных факелов, которые поднимаются на сотни метров. Удалось провести все необходимые измерения, отобрать многочисленные пробы.

Первые погружения аппаратов «Мир» проходили на гидротермальные поля Атлантики — их описание сопровождается в книге Сагалевича качественными фотографиями. Этот насыщенный раздел почти целиком посвящен открытиям, которые без подводных аппаратов просто не могли бы осуществиться. На многих участках глобальной системы срединных хребтов общей протяженностью более 60 тыс. км обнаружены многочисленные гидротермальные поля — сейчас их известно несколько десятков, но изучена лишь незначительная часть. Когда после многих часов погружения в темноте вдруг появляется удивительный оазис — гидротермы на дне, кажется, что попал в какой-то иной мир. Здесь все другое, полное движения, жизни, ярких красок, контрастов! Из высоких гидротермальных башен, похожих на готические храмы, поднимаются клубы черного дыма, в котором видны блески — мельчайшие кристаллы рудных минералов. Они возникают при выходе горячего глубинного раствора на поверхность дна с перепадом температур до 300—400°C. Сам флюид, так же, как и вещество из рудных построек, дымы факелов, удалось изучить с помощью особых пробоотборников.

Оказалось, что эта гигантская природная лаборатория для создания руд и минералов — аналог древних гидротермаль-

ных месторождений, которые издавна использовались для добычи цветных металлов на Южном Урале и Алтае. В древних рудах — им более 500 млн лет — удалось обнаружить остатки организмов, сходных с современными. Высказываются предположения, что жизнь на Земле зародилась в океане, его гидротермальных источниках, на глубинах около 3 км. В современной лаборатории рудообразования с помощью подводных аппаратов удалось сделать ряд открытий, которые позволяют усовершенствовать методы поиска древних рудных отложений на суше. Рудные постройки на дне иногда достигают в высоту 70 м и сотен метров в основании, запасы руды по предварительным оценкам в такой постройке около 10 млн т. В рейсах с аппаратами «Мир» удалось разработать совершенные методы изучения таких рудных полей на дне — они красочно описаны Сагалевичем и проиллюстрированы множеством оригинальных цветных фотографий. Нужно отметить, что зрительный ряд этой книги важен и содержателен, а качество его исполнения настолько совершенно, что издание напоминает красочный альбом.

Истории создания подводных аппаратов и путешествиям в районах гидротермальной активности на дне Мирового океана посвящены первые три главы книги. Мне они особенно близки, поскольку мы погружались вместе с Сагалевичем десятки раз. Многие часы пребывания в маленькой сфере, в темноте, под колоссальным давлением водяной толщи и на огромном расстоянии от людей сближают. В годы войны мне пришлось быть летчиком, и экипаж бомбардировщика — почти такая же единая команда, судьба их тесно связана с судьбой самолета. Но при катастрофе кто-то может спастись с парашютом. Из подводного аппарата не выпрыгнешь и не выйдешь для починки!

## Рецензии Кладбище погибших кораблей и поиски сокровищ

Деятельность человека запечатлена на дне океана — в останках погибших кораблей можно прочитать всю историю развития флота, от первых парусников до самых современных атомных подводных лодок. Изучение этого глубинного архива только начинается — пока что исследуются места самых крупных катастроф. Там ведутся подводные инженерные работы, направленные на сокращение возможных выбросов радионуклидов. За последние годы такие погружения стали популярными среди состоятельных иностранных туристов, что дает возможность совмещать научные исследования с коммерцией, тем самым материально обеспечивая работу подводных экспедиций.

О гибели «Титаника» (он столкнулся с айсбергом в 1912 г.) много фильмов, и последний из них снят в подводных экспедициях с аппаратами «Мир» Дж.Камероном. История волнует до сих пор: катастрофа унесла жизни 1500 человек. В районе гибели гиганта своего времени (водоизмещением около 45 тыс. т — почти в 10 раз больше НИС «Академик Мстислав Келдыш») в семи специальных экспедициях на глубину 3800 м было совершено около 140 погружений ГОА «Мир». По удивительному стечению обстоятельств катастрофа произошла в одном из наиболее загадочных районов Атлантики: на фронтальной зоне течения Гольфстрим, у основания материкового склона Северной Америки. Постепенно здесь был создан научный полигон «Титаник», где на протяжении семи

лет проводились исследования в свободное от съемок время.

Другой уникальный многолетний подводный полигон также расположен у основания континентального склона Северной Атлантики — в Норвежском море. Это место гибели российской атомной подводной лодки «Комсомолец». Здесь в шести рейсах наряду с научными исследованиями были проведены уникальные подводно-технические работы. На глубине 2 км было построено подобие саркофага, который предупредил бы возможные утечки радионуклидов из торпедных отсеков и реакторов лодки. Уникальная работа была выполнена в полярных условиях: частые шторма и качка, течения у основания склона, слабая видимость у дна.

Третий район исследований находился на месте гибели немецкого линкора «Бисмарк», останки которого найдены у основания континентального склона Европы. В августе 1940 г., при встрече с английскими кораблями, он потопил крейсер «Худ», при этом погибло около 1400 членов экипажа. Но несмотря на большую скорость — до 50 км/ч, «Бисмарк» не смог оторваться от преследования судами и авиацией. После попадания нескольких торпед он потерял управление и был потоплен. Погибло более 2000 человек. Как показали исследования, с подводных аппаратов «Мир» на глубине 4700 м, орудийные башни оторвались и теперь лежат недалеко от корпуса линкора. Очевидно, сначала бронированный гигант перевернулся вверх килем, а потом вновь вернулся в нормальное положение.

Удивительным образом все три катастрофы века произош-

ли у основания континентального склона — наименее изученной области океана. Именно здесь за последние годы обнаружены гигантские месторождения нефти и газа.

Еще одна тайна океана связана с гибелью в Атлантике японской подводной лодки I-52, которая следовала из Японии в Германию с тайной миссией. Только теперь по архивам удалось установить, что она перевозила олово и каучук, необходимые для промышленности Германии, а также около 2 т золота. Японские военные шифры были разгаданы, американские самолеты выследили подводную лодку в Атлантике и торпедами потопили ее. Корпус удалось отыскать на глубине 5340 м. Найдено множество обломков и блоков из олова, но золота не оказалось. Коммерческая операция была неудачной для заказчиков, но получили очень ценные научные материалы и уникальные фотографии, которые приведены в рецензируемой книге.

Сагалевиц описывает и один из рейсов, посвященный поиску сокровищ испанских галеонов, перевозивших золото из колоний в Северной и Южной Америке. Некоторые суда, возможно, были пиратскими. У Багамских о-вов на больших глубинах аппаратам «Мир» удалось найти останки деревянного парусника, на палубе которого лежали секстан, пистолет, серебряные монеты и бутылки...

Книга Сагалевица описывает 15-летнюю подводную одиссею, борьбу не только с природными и техническими трудностями, но и с превратностями перестройки, которая, как казалось, на время приостановила научные исследования в Мировом океане. ■

## Ботаника

**И.А.Губанов, К.В.Киселева, В.С.Новиков, В.Н.Тихомиров.**  
ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ РАСТЕНИЙ СРЕДНЕЙ РОССИИ. Т.2. Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). М.: Т-во науч. изд. КМК, Ин-т технологических исследований, 2003. 665 с.

Трехтомный определитель подготовлен сотрудниками кафедры ботаники биологического факультета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова и представляет собой универсальное иллюстрированное руководство для изучения сосудистых растений Средней России.

В первом томе, вышедшем в 2002 г., описаны папоротники, хвощи, плауны, голосеменные и покрытосеменные однодольные (см.: Природа. 2002. №8). Второй том содержит характеристику около 500 видов растений и ключи для определения 56 семейств двудольных; 554 черно-белых изображений растений.

Отделы, классы и семейства растительного царства расположены в порядке широко распространенной в России системы А.Энглера. Роды внутри семейств и виды внутри родов приведены в алфавитном порядке латинских названий. Планируется выпустить третий том.

Во всех трех томах будет размещено свыше 1600 рисунков сосудистых растений, произрастающих в регионе.

## Естествознание

ТВОРЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ. Под ред. Ю.Д.Железнова, Б.И.Козлова; Сост. Е.И.Александрова, Т.Ф.Соколова. М.: Новая школа, 2003. 192 с.

В 2002 г. Политехническому музею исполнилось 130 лет. Эта дата совпала со знаменатель-

ным событием в истории мировой культуры — 550-летием со дня рождения Леонардо да Винчи, одного из наиболее ярких представителей эпохи Возрождения. Празднование этих двух событий было отмечено проведением Международной научной конференции «Творческое наследие Леонардо да Винчи» и выставки «Мир Леонардо».

Дарования Леонардо позволили ему проявить себя на удивление многогранно: он был художником, архитектором, ученым. Его научные интересы воистину не имели границ: математика и физика (механика, оптика, гидравлика), астрономия, геодезия и картография, ботаника, физиология и анатомия. Он изложил основные принципы конструирования цепных передач, технологических средств шлифования оптических стекол, различных летательных аппаратов, всевозможных машин и транспортных устройств, станков для обработки материалов, технических средств для перемещения в воде и под водой. Научные прозрения и технические идеи Леонардо не были востребованы эпохой, однако спустя 250—300 лет инженерная практика подтвердила правоту и гениальность его разработок.

В сборнике опубликованы избранные научные доклады, с которыми выступили участники конференции в Политехническом музее.

## Геохимия

**Н.Г.Патык-Кара, А.М.Иванова.**  
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ШЕЛЬФЕ. Отв. ред. Н.П.Лаверов, И.С.Грамаберг. М.: Научный мир, 2003. 416 с.

Шельфы — обрамляющие суши подводные материковые отмели — составляют внешнюю зону океанических бассейнов,

внутриконтинентальных морей. Это важнейшая в экономическом, в том числе в ресурсном отношении область Мирового океана.

Второе по значению место в ресурсном потенциале шельфов занимают твердые полезные ископаемые, прежде всего, россыпи месторождения тяжелых минералов титана и циркония, алмазов, золота, олова, янтара и др.; за ними следуют месторождения железомарганцевых конкреций, фосфоритов, песчано-гравийных строительных материалов, биогенного сырья.

В книге обобщен многолетний опыт геохимических исследований на континентальном шельфе России и сопредельных территорий, обоснованы критерии поисков твердых полезных ископаемых и приведены полученные на их основе результаты. Существенно расширены представления о механизмах миграции и дифференциации химических элементов в прибрежной зоне, ранее сформулированные в трудах Н.М.Страхова, А.П.Лисицына, Е.М.Емельянова, В.Н.Холодова.

Главным достоинством работы стал анализ локальных геохимических обстановок прибрежного шельфа, построенный на обширном фактическом материале. Сформулированные авторами представления об уникальной роли современного активного слоя донных осадков и многоуровневой структуре геохимических полей имеют важнейшее теоретическое и прикладное значение.

## Геоэкология

**Б.И.Кочуров.** ЭКОДИАГНОСТИКА И СБАЛАНСИРОВАННОЕ РАЗВИТИЕ. Учебное пособие. Москва—Смоленск: Маджента, 2003. 384с.

Зародившись в недрах географии и экологии, геоэколо-

гия сформировалась как наука, которая рассматривает человека не только в природной, но и социальной, культурной, экономической, техногенной средах. Она синтезирует современные достижения демо- и этнографии, социологии, культурологии, физической и экономической географии, преодолевая тем самым пространственную (территориальную) ограниченность и узость многих наук. В задачи геоэкологии входит прогнозирование экологических проблем и ситуаций, возникших в результате взаимодействия общества с окружающей природной средой.

Учебное пособие по геоэкологии подготовлено на базе Института географии РАН и рассчитано не только на специалистов и учащихся, но и на широкий круг лиц, интересующихся охраной окружающей среды. В нем раскрываются основные положения сбалансированного территориального развития, даются принципы и методы геоэкологического прогнозирования. Приводится краткий словарь новых терминов и понятий.

### История науки

**И.Д.Рожанский.** ДМИТРИЙ АПОЛЛИНАРИЕВИЧ РОЖАНСКИЙ. Сост.: М.М.Рожанская, С.Р.Филонович; Отв. ред. В.П.Визгин. М.: Наука, 2003. 159 с. (Из сер. «Научно-биографическая литература».)

Дмитрий Аполлинариевич Рожанский (1882–1936) — член-корреспондент Академии наук, известный советский физик-экспериментатор, заложивший основы радиофизики.

Он внес значительный вклад в исследования физики искрового и газового разрядов, разработал методы генерации электромагнитных волн метрового диапазона и регистрацию быстропротекающих процессов, радиолокацию. Велико значение работ ученого с точки зрения развития методов физического эксперимента. Научная биография Рожанского интересна еще и тем, что отражает общее состояние экспериментальной физики в дореволюционной России и СССР.

Идея подготовки книги принадлежит сыну Дмитрия Аполлинариевича — известному историку науки Ивану Дмитриевичу Рожанскому. Он начал собирать материалы об отце с начала 1980-х годов, затем привлек к работе историка физики С.Р.Филоновича, но закончить ее в запланированные сроки не удалось: в 1994 г. Ивана Дмитриевича не стало. Однако М.М.Рожанская и Филонович решили довести начатое дело до конца. Они использовали практически все материалы, собранные Иваном Дмитриевичем, провели дополнительные архивные изыскания и тщательный анализ научного творчества Д.А.Рожанского. Настоящая книга стала данью памяти не только Дмитрию Аполлинариевичу, но и его сыну.

### История науки

**Е.М.Емельянов.** К.М.ШИМКУС. История нашей творческой жизни (из истории океанологии). Калининград: КГУ, 2002. 50 с.

Казимерас Миколович Шимкус (1935–2001) — морской геолог

мирового масштаба, знаток кайнозойской геологической истории альпийской складчатой зоны Средиземноморья. По окончании Вильнюсского государственного университета был направлен в Геологическое управление Литвы полевым геологом. В 1958 г. переехал в Краснодарский край, работал в группе морской геологии Черноморской экспериментальной научно-исследовательской станции в Голубой бухте Геленджикского р-на. Он участвовал в экспедициях, отбирал пробы морских осадков, составлял батиметрическую карту Черного моря. С 1986 г. Шимкус возглавил лабораторию геологии южных морей, где работал до последних дней.

В 1995 г. по договору с Англией и Испанией он организовал экспедицию, которая обследовала дно Гибралтарского пролива; на глубоководном аппарате «Аргус» многократно погружался на дно Черного моря, изучал шельф и каньоны Кавказского побережья.

Шимкус проявил себя и как организатор науки. Совместно с академиком А.П.Лисицыным он провел десять всесоюзных школ по морской геологии в Геленджике, куда съезжались геологи со всех стран; возглавил несколько международных проектов «Черное море», целью которых было изучение геоэкологических последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции.

В книге описаны основные этапы творческой жизни Шимкуса, показаны поворотные вехи в изучении геологии Средиземного и Черного морей.

# Она признавала верховенство растений над всем живым в природе

Ж.Г.Василенко,  
кандидат химических наук  
Москва

В 2003 г. физиологи растений отметили 100 лет со дня рождения Елены Григорьевны Мининой (1903—1990), талантливого биолога, замечательного человека, соратника и жены выдающегося российского ученого Д.А.Сабинина. В работах доктора биологических наук Мининой заложены основы описания закономерностей морфогенеза и половых трансформаций растений как в обычных условиях, так и в условиях экологического стресса. В зале Центральной сельскохозяйственной библиотеки состоялась конференция, посвященная научной деятельности Мининой. Выступили ученики и сотрудники Елены Григорьевны, работавшие с ней в разное время, ученые из Воронежа, Петрозаводска, Новосибирска, Израиля и США. Красноярское отделение Российского ботанического общества весь выпуск своего журнала «Ботанические исследования Сибири» посвятило столетию со дня рождения Мининой [1].

Минина родилась в 1903 г. в г. Красноуфимске Свердловской области. В 1922 г. после окончания гимназии она поступила на агрономический факультет Пермского государственного университета.

На примере Пермского университета бедность страны в 1921—1926 гг. проявилась в отсут-

ствии необходимого оборудования. Так, А.А.Рихтер, ректор университета, отправился в служебную командировку в Ленинград с мешком гречневой крупы, которую ему выдали вместо зарплаты. В жестких условиях формировалась Елена Григорьевна как ученый, тем удивительнее видеть, что самые первые ее работы шли не вровень с веком, а всегда чуть впереди. Тема ее диплома «Влияние корневых систем злаков, бобовых и корнеплодов на почвенный раствор», связанного непосредственно с работами профессора Д.А.Сабинина о физиологических особенностях корня, была продолжена в 1927—1931 гг. в аспирантуре Научно-исследовательского института при Пермском университете. Минина активно работала под руководством специалиста по физиологии растений профессора И.А.Максимова, проявляя способности дотошного и успешного экспериментатора, четко осознающего цели исследований. В это же время перемены произошли и в личной жизни Елены Григорьевны. Она стала не просто женой Сабинина, но верным приверженцем его идей, соратницей, способной поддерживать и воплощать задуманное им. Намечался переезд в Москву, где Дмитрий Анатольевич должен был начать работу на биологическом факультете университета. Научная деятельность, гармония семейных



Пермь. 1924 г.

отношений освещают эту часть жизни, где естественно сплелись строгое планирование доказательных экспериментов и образность восприятия растений как части живого. С 1931 г. Елена Григорьевна работает в должности старшего научного сотрудника Всесоюзного научно-исследовательского института удобрений и агропочвоведения (ВИУАА). Именно здесь в лаборатории физиологии растений в рамках темы «Изучение влияния минерального питания на рост и развитие растений» она начала исследования по проблеме связи урожайности и пола растений. Развитие поло-

вых признаков травянистых и древесных растений — основное направление работ Мининой.

В начале XX в. для физиологов, изучающих высшие растения, наибольшее значение имела их автотрофность, естественным казалось сосредоточить усилия прежде всего на выявлении закономерностей фотосинтеза, минерального питания и водного режима. Разнообразие закономерностей перехода живущих и ископаемых форм высших растений от вегетативного развития к репродуктивному, половому, семенному, создавало впечатление, что время их фундаментального изучения еще не наступило. Работы Ч.Дарвина, которые К.А.Тимирязев объединил под общим названием физиологической теории цветка, и теория развития растений М.Х.Чайлахяна были только предвестниками расширения этой области исследования. В 30—40-е годы XX в. в нашей стране произошел существенный прорыв в изучении того этапа развития растений, о котором Сабинин говорил, что «едва ли можно среди всех известных нам этапов развития найти другой, имеющий столь большое значение, как процесс определения пола, процесс сексуализации организма».

Серией экспериментов, проведенных в ВИУАА и посвященных изучению физиологических и биохимических свойств тканей растений, Елена Григорьевна подтвердила предполагаемую возможность сдвига пола травянистых растений под воздействием факторов внешней среды [2]. Сабинин писал в 1934 г.: «У меня чувство радости и просто какого-то удивления, как они работают <...> в ВИУАА, <...> вижу всю эту насыщенную работу, хочу что-то сам поправить, но часто ловлю себя на ощущении боязни что бы то ни было трогать в этой чудесной живой машине. Если бы ты только могла представить, как это для меня важно, что мы работаем вместе, что твоими чудесными руками из какой-то массы, бродящей в моей и твоей голове, лепятся прекрасные формы». Это были годы, когда наша страна перенесла «зачистку»

интеллекту и активно готовилась к войне. В 1941—1942 гг. Елена Григорьевна, мать троих детей, находилась на родине в Красноуфимске, трудилась агрономом в конторе «Сортсемовощ». Научная работа отодвинулась. Надолго ли? Этот вопрос не для Мининой. В ее дневнике запись 1942 г.: «Возвращение в Москву вместе с Митей (Д.А.Сабинин). Жизнь на кафедре МГУ, теперь пустующей, в его кабинете (бывшей комнате Тимирязева). Три стола — рабочий, письменный, лабораторный — и огромный книжный шкаф, кушетка. На лабораторном столе — газовая горелка с чуть заметным пламенем под кирпичом для обогрева. Митя всегда со мной, в этом мое счастье. Страшная война продолжается». Трудное военное и послевоенное время пришлось на годы докторантуры в Институте физиологии растений. «Война кончилась, идет восстановление страны после разрухи. Но наши испытания не кончились, а только развиваются. Это постигаю чем-то внутренним. Разгорается дискуссия с Лысенко», — пишет Минина в своем дневнике. — «Историческая, печально знаменитая, сессия ВАСХНИЛ. Митя стойко защищает генетическую науку. Его разговор с А.Н.Несмеяновым. Митя уволен с кафедры <...>. Разделяю его крайнюю взволнованность, страдания». Во времена господства в биологии теоретических идей, выстроенных под постановления партии, Сабинина лишили возможности работы в Московском университете.

Пионерская отрасль исследований, сексуализация растений, что в отличие от работ по физиологии животного мира ранее не привлекало внимания ученых, помогала Елене Григорьевне переносить трудности того времени. Уже в 40-е годы прошлого века ход процессов сексуализации она видела достаточно ясно, хоть и без детализации отдельных этапов. Вот цитата из ее статьи (1949): «В листьях раздельнополых однодомных растений в процессе их развития и в результате возникающих при этом реакций метаболизма создаются гормоны мужского

и женского пола. Количественные отношения этих гормонов неодинаковы и меняются в зависимости от внутренних и внешних условий. По мере накопления гормонов в листьях они передвигаются к точкам роста и в процессе детерминации пола осуществляют свое действие на половые ткани цветочных почек в направлении, которое определяется внешней средой» [3]. К этому времени относится проведенная ею (впервые в СССР) гормональная обработка тканей генеративных почек нафтилуксусной кислотой, что оказало влияние на активную закладку и дифференциацию цветочных почек тыквенных. В исследованиях, посвященных проблемам плодоношения растений, рассматривая многообразие половых форм деревьев (ясень, тополя, березы, ивы, алычи, дуба), особое значение Минина придает главнейшему биологическому свойству — раздельнополости цветов изучаемых видов, т.е. половому диморфизму.

Сабинин в это время подвергался травле как антилысенковец. Уже получив от Института океанологии АН СССР работу по организации морской экспериментальной станции в Голубой бухте близ Геленджика, неожиданно он был уволен с должности директора. Поиски работы и, как пишет в дневнике Елена Григорьевна, «визиты к академикам были безрезультатны <...> всюду отказы. Кажется, намечается почвенный институт. Но снова запрещение. Апрель 22 — все кончено». В 1951 г. Дмитрий Анатольевич Сабинин добровольно ушел из жизни. Как ученого его отличали редкая наблюдательность, научное предвидение, колоссальная эрудиция и интуиция. Проанализировав результаты опытов по центрифугированию с выделением субмикроскопических нуклеопротеидных гранул, в 1947 г. он предсказал их функции. Спустя десять лет, в 58-м, Р.Робертсон эти частицы назвал рибосомами [4].

Огромная сила духа и преданность истинным научным ценностям помогли Елене Григорьевне пережить эти тяжелейшие для нее

годы. Уже в 1952 г. она опубликовала монографию, освещавшую работы 30–40-х годов [5]. Эта работа была не просто пионерской, она демонстрировала продуктивность соединения «в одних руках» вегетационных опытов с травянистыми культурными растениями, с древесными породами как плодовыми, так и лесными. На травянистых были обобщены начатые Мининой еще в 40-х годах исследования с этиленом как фитогормоном, которые намного опередили свое время. Наряду с этим анатомо-морфологическая работа с хурмой, проведенная ею на Сочинской плодовой станции, и серьезный анализ (другой объект, другой подход и уровень рассмотрения проблемы) распределения мужских и женских шишек в кроне сосны — ценнейший материал, показывающий зависимость от возраста.

В 1955–1958 гг. — работа в Институте леса АН СССР, лабораторные исследования, командировки. Партийное руководство биологическими исследованиями продолжается. Елена Григорьевна пишет: «Ботанический журнал», где под водительством В.Н.Сукачева открылась дискуссия по поводу лысенковских работ в лесном хозяйстве, разбит. В.Н. и все благородное с ним у правительства в опале». Институт леса по решению Н.С.Хрущева переводят в Красноярск. Настроение среди ученых подобно тому, какое было в 48-м. Продолжая работать во Всесоюзном научно-исследовательском институте фитопатологии (Голицыно), Елена Григорьевна не отошла от установок, сложившихся в ее первых совместных с Сабининым работах. К 1962 г. труды по морфогенезу генеративных почек были обобщены в докторской диссертации «Определение пола древесных». Доказано наличие нескольких сменяющих одна другую фаз развития в морфогенезе генеративных почек и факт контроля их смены внешней средой. Работы имели практическую значимость, но Мининой пришлось перейти в Институт лесоводства и механизации (Пушкино), откуда ее уволь-



Красноярск. 1970 г.

няют как антилысенковку. В ее дневнике отсутствуют описания нападков, они отфильтровываются как малозначимые для сути жизни, главное — общение с растениями: «Работа заключалась в изучении биологии тополя. Это изумительная порода, полная изящества и чуткой одухотворенности во всем: в строении почек, форме листьев, цветах мужских и женских на разных особях. Вскрыты ритмичности биохимического вихря».

В 1967 г. в возрасте 64 лет Елена Григорьевна оставляет Москву. Семейная шутка Мининых—Сабининых: «Шишки хвойных для нее были важнее шишек, которые набивали себе ее внуки». Она начинает работу в Красноярске в должности старшего научного сотрудника лаборатории лесной селекции семеноводства и акклиматизации. Исследования руководимой ею группы охватывают широкий круг вопросов: от физиологии растений, морфогенеза вегетативных и генеративных органов до полного становления древесного организма, выраженного в его габитусе — форме кроны. Полученные на основе работ по сексуализации хвойных и особенностям их габитуса рекомендации в практике рас-

тениеводства и лесоведения до сих пор применяют для ускорения перехода от вегетативного развития к генеративному и изменению соотношения половых почек.

Именно в красноярский период ее научной работы сформировалась школа Мининой, свидетельством чему публикации в периодической печати и в особенности монографии, ставшие заметным событием в биологии вообще и ботанике в частности. «Морфогенез и проявление пола у хвойных» — единственная монография российских ученых, посвященная сложным процессам индивидуального развития генеративных органов хвойных [6]. Благодаря стойкости Елены Григорьевны даже во времена репрессий сохранилась преемственность школ русских физиологов растений Д.Н.Прянишников и А.С.Фаминцына (последний был учителем А.А.Рихтера и Д.А.Сабинина). Главным для них было видеть жизнь целого растения в условиях окружающей среды, что соответствовало идеям Сабинина. Требовалось не только видеть все растение с его особенностями, но при необходимости выйти за его пределы, например в почву.



Из дневника Елены Григорьевны (1970—1973): «Саяны. Тайга, горы, перевалы, спуски к прозрачным ручьям. То величественные кедр, то готика знаменитых сибирских пихт <...>. Рамки работ расширяются. Сила земного тяготения властвует. За Саянами чудо Байкала. Бурятия с ламой и лесами, хранящими тайные тропы Тибета. Мучительно влекущая за собой близость великих идей Рериха. Здесь как нигде власть космоса». Минина отдает дань изучению влияния «космических» факторов среды на растения, в частности гравитации как особого по значимости, находящегося за пределами обычных средств регулирования. Будучи человеком религиозным, воспитанным в христианских традициях, и более того, воцерковленным, она тем не менее по-язычески обожествляла расте-

ния, признавала их верховенство над всем живым в природе. Изучение хвойных для нее означало доскональное знание каждого дерева. Отсюда постановка проблем связи геотропизма и особенностей габитуса, которые интересовали Елену Григорьевну в последние годы [7]. Временные рамки в изучении особенностей влияния гормональной системы на формирование облика растения расширяются, осуществляется выход в эволюционную тематику. На основании огромного опыта, накопленного в работе с хвойными, оценив напряженность протекающих физиологических и биохимических реакций (интенсивность фотосинтеза, углеводно-азотистого обмена, биосинтеза гиббереллинов и ростовых процессов в отдельных особях), Минина берет на себя смелость указать на признаки,

ответственные за эволюционную продвинутость. Рассматривая в естественных древостоях отдельные особи сибирской сосны с признаками апомиксиса, свойственного процветающим покрытосеменным, она утверждает, что именно эти мутантные формы с высоким физиологическим потенциалом и есть материал для эволюции.

На конференции, посвященной памяти Мининой, в докладе доктора биологических наук И.Н.Третьяковой (Институт леса и древесины им.В.Н.Сукачева СО РАН) прозвучали слова: «Е.Г. стала классиком науки, ее монографии будут настольными книгами для многих ученых и останутся постоянным и ценным фундаментом в физиологии растений. Мы, сибирские ученые, благодарны судьбе, подарившей нам общение с этим замечательным человеком». ■

## Литература

1. Ботанические исследования Сибири. 2003. Вып.11.
2. Минина Е.Г. // ДАН. 1938. Т.21. №6. С.302—305.
3. Минина Е.Г., Кушнаренко С.В. // ДАН. 1949. Т.64. №3. С.409—412.
4. Жолкевич В.Н. Д.А.Сабинин и развитие физиологии растений // Природа. 1983. №9. С.96—103.
5. Минина Е.Г. Смещение пола у растений под воздействием внешней среды. М., 1952.
6. Минина Е.Г., Ларионова Н.А. Морфогенез и проявление пола у хвойных. М., 1979.
7. Минина Е.Г. Третьякова И.Н. Геотропизм и пол у хвойных. Новосибирск, 1983.

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь  
**Е.А.КУДРЯШОВА**

Научные редакторы  
**О.О.АСТАХОВА**  
**Л.П.БЕЛЯНОВА**  
**Е.Е.БУШУЕВА**  
**М.Ю.ЗУБРЕВА**  
**Г.В.КОРОТКЕВИЧ**  
**К.Л.СОРОКИНА**  
**Н.В.УЛЬЯНОВА**  
**Н.В.УСПЕНСКАЯ**  
**О.И.ШУТОВА**

Литературный редактор  
**М.Я.ФИЛЬШТЕЙН**

Художественный редактор  
**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией  
**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Младший редактор  
**Г.С.ДОРОХОВА**

Перевод:  
**П.А.ХОМЯКОВ**

Набор:  
**Е.Е.ЖУКОВА**

Корректоры:  
**В.А.ЕРМОЛАЕВА**  
**Е.А.ПИМЕНОВА**

Графика, верстка:  
**Д.А.БРАГИН**

Свидетельство о регистрации  
№1202 от 13.12.90

Учредители:  
Президиум РАН,  
Издательско-производственное  
и книготорговое  
объединение «Наука»  
Адрес издателя: 117997,  
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,  
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (095) 238-26-33  
Подписано в печать 15.01.2004  
Формат 60×88 1/8  
Бумага типографская №1,  
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,  
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2  
Заказ 8022  
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»  
Академиздатцентра «Наука» РАН,  
121099, Москва, Шубинский пер., 6