

# ПРИРОДА

3 02



**В НОМЕРЕ:****3 Шарков А.А.****Уникальные месторождения урана**

Открытые почти полвека назад на Мангышлаке ураново-редкометалльные месторождения костного детрита ихтиофауны и по сей день остаются геологическим феноменом, известным только в одной формации Земли — майкопской, олигоцен-раннемиоценовой.

**13 Камкин А.Г., Киселева И.С., Ярыгин В.Н.****Новый тип ионных каналов**

Чувствительные к механическому воздействию ионные каналы обнаружены в клеточной мембране относительно недавно. Их изучение еще продолжается, но уже ясно, что через них осуществляется связь механики и электричества в клетке.

**Калейдоскоп****20**

Канада устремляется к Марсу (20). — «Персидская принцесса» — фальшивка (37). — В Мексике сооружается крупнейший телескоп (46). — Уран лишился одного спутника (46). — Вулкан Биг-Пен не дремлет (46). — Озеро Чад исчезает (72).

**21 Левицкий М.М.****Магнетизм входит в полимеры**

До недавнего времени ферромагнитные материалы создавались только на основе неорганических соединений. Теперь удастся получать и органические полимеры с магнитными свойствами.

**28 Клочкова В.Г., Панчук В.Е.****От звезды к планетарной туманности**

Привычно думать, что процессы во Вселенной характеризуются астрономическим масштабом величин, в том числе времени. Однако в эволюции звезд есть и относительно краткие стадии.

**Вести из экспедиций****38 Микляева И.М.****Дорогами Монголии****Заметки и наблюдения****47 Короткевич Г.В.****Сунгирь в новой экспозиции  
Владими́ро-Сузда́льского  
музея-заповедника****Булавинцев В.И.****Зимние гости (51)****53 Бизина Е.В.****Судьба окружающей среды в США****59 Рубцов Н.Б., Бородин П.М.****Эволюция хромосом:  
от А до В и обратно****67 Тисса Ласло****Вспоминая молодого  
Эдварда Теллера****Научные сообщения****71 Басов И.А.****Азиатские муссоны  
и глобальный климат  
(184-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)****Виноградов Г.М.****Наше фамильное древо  
снова ветвится (73)****Новости науки****76**

Созвездия во времена древних минойцев. Кузьмин А.В. (76). — Новая система исследования земной магнитосферы (76). — Предстоящая «кончина» ценного спутника (77). — Еще один вулкан на Ио (77). — Нановесы из углеродных нанотрубок (78). — Отчего исчезают земноводные. Семенов Д.В. (78). — Контроль физиологических функций при стрессе. Астахова О.О. (79). — От «зоны смерти» к «полосе биоразнообразия» (79). — Что делать с великими болотами Флориды? (79). — Избыточный европий в современных фосфоритах. Батурин Г.Н. (80). — Эпигенетическое преобразование древних отложений. Виноградов В.И., Бурзин М.Б. (81). — Что «задумал» Планшон-Петероа? (81). — В Центральной Америке недра беспокойны (82). — Скандинавия после снятия ледовой нагрузки (82). — Озеро Восток тает и замерзает (83). — Южноамериканские дожди 25 тысяч лет назад (83). — Предок тираннозавра (84). — Первые горожане Америки (84).  
Коротко (75)

**Рецензии****85 Зыков К.Д.****Наследие Русской Арктики****Новые книги****89****Встречи с забытым****92 Игнатьев С.М.****«Проводились наблюдения  
всякого рода»**

К истории русских гидробиологических исследований Средиземного моря

## CONTENTS:

### 3 **Sharkov A.A.**

#### **Unique Uranium Deposits**

*The uranium-rare-metal deposits of fish detritus discovered on the Mangysblak Peninsula almost 50 years ago are still a geological phenomenon that is known only in one rock formation on the Earth: the Maikop Oligocene–Early Miocene rocks.*

### 13 **Kamkin A.G., Kiseleva I.S., and Yarygin V.N.**

#### **A New Type of Ion Channel**

*Mechanosensitive ion channels have been discovered in cells membranes relatively recently. Their study is still in progress, but it is already clear that it is through them that mechanics and electricity in the cell are connected.*

### Kaleidoscope

### 20

Canada Heading for Mars (20). — The «Persian Princess» Is a Fake (37). — The Largest Telescope under Construction in Mexico (46). — Uranus Has Lost a Satellite (46). — Big Pen Volcano Is not Dormant (46). — Chad Lake Is Vanishing (72).

### 21 **Levitsky M.M.**

#### **Magnetism Becomes Part of Polymers**

*Until recently ferromagnetic materials had been based only on inorganic compounds. Now it is possible to produce organic polymers with magnetic properties.*

### 28 **Klochkova V.G. and Panchuk V.E.**

#### **From a Star to a Planetary Nebula**

*It is customary to think that the processes in the Universe operate on the astronomical scale of quantities, including time. Yet the evolution of stars also involved relatively short stages.*

### News from Expeditions

### 38 **Miklyaeva I.M.**

#### **Via the Roads of Mongolia**

### Notes and Observations

### 47 **Korotkevich G.V.**

#### **Sungir in the new Exhibit of the Vladimir–Suzdal Museum**

#### **Bulavintsev V.I.**

#### **Winter Guests (51)**

### 53 **Bizina E.V.**

#### **The Fate of the US Environment**

### 59 **Rubtsov N.B. and Borodin P.M.**

#### **The Evolution of Chromosomes: From A to B and Back**

### 67 **Tissa Laslo**

#### **Reminiscing about the Young Edward Teller**

### Scientific Communications

### 71 **Basov I.A.**

#### **Asian Monsoons and Global Climate (184th Cruise of the JOIDES Resolution)**

#### **Vinogradov G.M.**

#### **Our Family Tree Is Branching out Again (73)**

### Science News

### 76

Constellations in the Times of the Ancient Minoans. **Kuzmin A.V.** (76). — A New System for Studying the Terrestrial Magnetosphere (76). — The Forthcoming End of a Valuable Satellite (77). — Another Volcano on Io (77). — A Nanobalance Made out of Carbon Nanotubes (78). — Why Amphibian Become Extinct. **Semenov D.V.** (78). — The Control of Physiological Functions During Stress. **Astakhova O.O.** (79). — From the «Death Zone» to the «Biodiversity Strip» (79). — What Is to Be Done with the Great Marshes of Florida? (79). — Excess Europium in Present-Day Phosphorites. **Baturin G.N.** (80). — Epigenetic Alteration of Ancient Deposits. **Vinogradov V.I. and Burzin M.B.** (81). — What Is on Planchon-Peteroa's Mind? (81). — The Earth's Interior Is Not Quiet In Central America (82). — Skandinavia after the Release of the Ice Load (82). — Vostok Lake Melting and Freezing (83). — South American Rains 25 000 Years Ago (83). — The Tyrannosaur's Forepart (84). — The First Town Dwellers of America (84). *In Brief* (75)

### Book Reviews

### 85 **Zykov K.D.**

#### **The Heritage of the Russian Arctic**

### New Books

### 89

### Encounters with the Forgotten

### 92 **Ignatyev S.M.**

#### **«Observations of All Kinds Were Made»**

*A Contribution to the History of Russian Hydrobiological Observations in the Mediterranean*



# Уникальные месторождения урана

А.А.Шарков

Прошедшее столетие ознаменовалось многочисленными открытиями различных полезных ископаемых на территории Советского Союза, и в том числе обнаружением нефти и атомного сырья в труднодоступных пустынных районах Мангышлака (Казахстан). Но если открытие нового нефтеносного бассейна на этом полуострове в Каспийском море получило в то время весьма широкое освещение в печати, то сведения об урановых месторождениях на протяжении нескольких десятилетий оставались строго засекреченными, и они рассматривались как редкоземельные. Только в последние годы в открытой печати появились первые публикации, в которых эти уникальные промышленные месторождения, не имеющие аналогов в геологической истории Земли, были представлены в полном объеме, т.е. как ураново-редкометалльные.

На протяжении многих лет я занимался детальным изучением ураноносных залежей, расположенных в пределах Карагинского рудного поля на Южном Мангышлаке, в процессе их разведки и эксплуатации. Вот уже почти полвека они привлекают к себе большое внимание отечественных и зарубежных



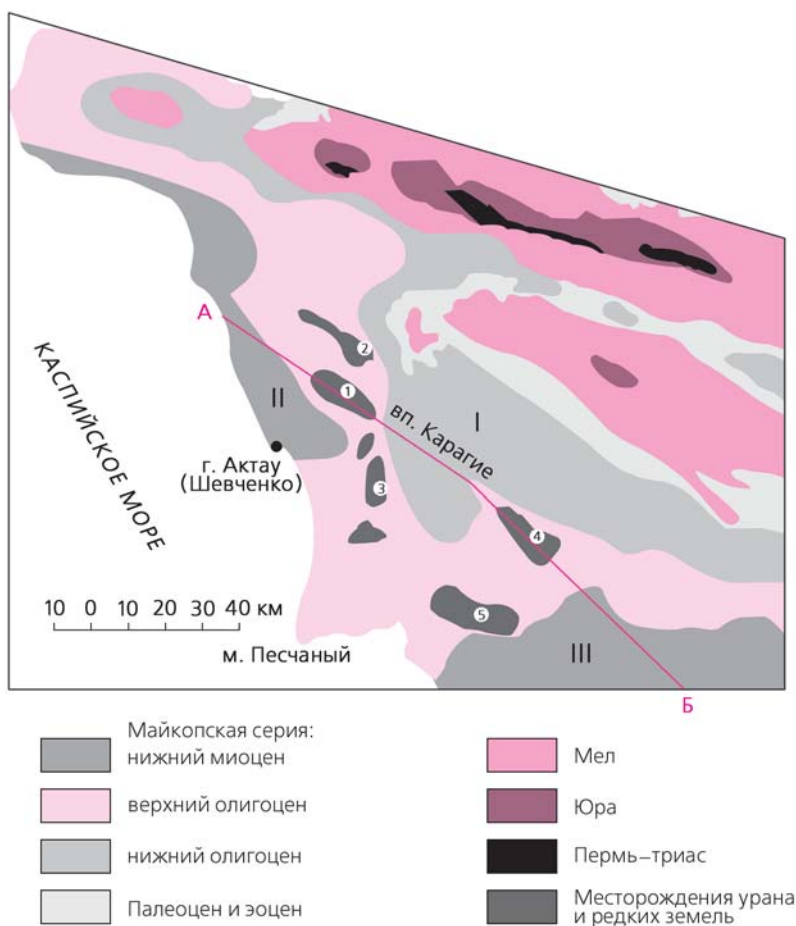
*Анатолий Антонович Шарков, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского института минерального сырья им.Н.М.Федоровского. Область научных интересов — оценка и прогнозирование месторождений урана и других полезных ископаемых.*

исследователей как своим необычным строением и экзотическим составом, так и условиями формирования грандиозных скоплений ископаемых ураноносных остатков рыб (костного детрита) и морских млекопитающих. Особый интерес представляет механизм накопления и локализации огромного количества костного детрита рыб. Результаты исследований были частично опубликованы в открытой печати, а основной фактический материал до последнего времени оставался закрытым даже для геологов.

Впервые повышенное содержание урана (0.01%) в ископаемых остатках рыб, заключенных

в рудоносных майкопских глинах, было установлено в 1947 г. на Северном Кавказе, в районе г.Черкесска, исследователем из Всесоюзного института минерального сырья (ВИМС) В.Г.Мелковым. Позднее аналогичные образования с более высокими концентрациями урана, представляющими промышленный интерес, были обнаружены Ферганской экспедицией этого же института, проводившей аэрометрические поиски урана на территории Мангышлака. Были зафиксированы многочисленные аэроаномалии в олигоценовых отложениях, широко развитых в южной части полуострова. Наземная проверка их

© А.А.Шарков



Схематическая геологическая карта западной части п-ова Мангышлак (со снятым неоген-четвертичным чехлом). Римскими цифрами обозначены: I — Карагинское поперечное поднятие, II — Сегендыкская синклиналь, III — Жазгурдинская синклиналь. Арабскими цифрами показаны месторождения: 1 — Меловое, 2 — Томак, 3 — Тасмурун, 4 — Тайбагар, 5 — Садырнын. А—Б — линия геологического разреза.

показала, что все рудные участки приурочены к пластам костного детрита рыб, выходящим на поверхность в обрывистых бортах обширной бессточной впадины Карагие.

В итоге дальнейших поисково-разведочных работ определилась огромная площадь развития глинистых осадков со скоплениями фосфатного костного детрита. По самым скромным подсчетам, количество ископаемых остатков рыб в отложениях верхнего олигоцена составляло несколько сотен миллионов

тонн. Только в пластовых ураноносных залежах, образующих в совокупности весьма обширное Карагинское рудное поле, общая масса костного детрита достигала более 200 млн т. В его пределах разведано пять месторождений разного масштаба, получивших название органо-генно-фосфатных [1].

В тектоническом отношении месторождения приурочены к довольно крупному Карагинскому поперечному (субмеридиональному) поднятию, которое протягивается на 60–70 км

к северо-востоку от мыса Песчаного и разъединяет две обширные синклинальные зоны (депрессии) — Сегендыкскую и Жазгурлинскую.

Таким образом, в середине XX в. была открыта крупная ураново-редкометалльная провинция в Закаспии, остающаяся и по сей день геологическим феноменом, пока известным только в одной формации Земли — майкопской, олигоцен-раннемиоценовой.

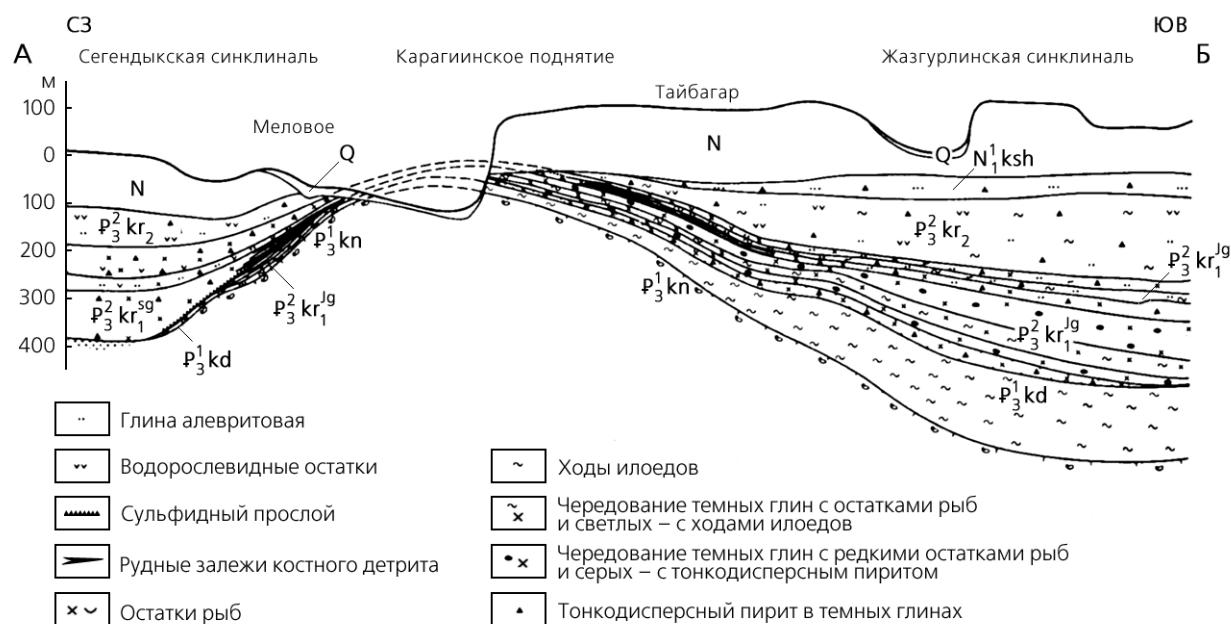
### Рыбная подсыта

О нахождении остатков ихтиофауны в древних осадках морских водоемов было известно давно, но таких грандиозных залежей ураноносного костного детрита, как на Мангышлаке, до середины прошлого столетия геологической науке известно не было.

Что же представляют эти уникальные по своим масштабам и составу месторождения, и как они возникли в майкопском сероводородном морском бассейне 40 млн лет тому назад?

Прежде всего необходимо отметить, что все органо-генно-фосфатные месторождения на Южном Мангышлаке располагаются в своеобразной осадочной толще верхнего олигоцена, получившей наименование рыбной подсыты. Главная особенность рудовмещающих глинистых пород — максимальная обогащенность ископаемыми остатками ихтиофауны с концентрацией урана 0.05–0.5% и редких земель 0.5–2%, а также сульфидами железа (25–50%), в которых отмечается повышенное содержание таких элементов, как Ni (0.1%), Mo (0.04%), Co (0.02%), Cu (0.4%), Pb (0.01%), Zn (0.2%) и As (0.04%). В сульфидном же концентрате их содержания увеличиваются в три раза [2].

Глинистая толща ураноносной рыбной подсыты подразделяется по региональному внутриформационному размыву



Геологический разрез через Карагинское поднятие (положение разреза см. предыдущий рисунок). Нижний олигоцен:  $P_3^{1}kn$  — кенджалинская свита,  $P_3^{1}kd$  — каундинские слои; верхний олигоцен — карагинская свита:  $P_3^{2}kr_1$  — нижняя (рыбная) подсвита ( $P_3^{2}kr_1^{jg}$  — жазгурдинский горизонт,  $P_3^{2}kr_1^{sg}$  — сегендыкский горизонт),  $P_3^{2}kr_2$  — верхняя подсвита. Нижний миоцен:  $N_1^{1}ksh$  — кашкардинская свита. N — неоген нерасчлененный, Q — четвертичные образования.

(перерыву в осадконакоплении) на два горизонта: жазгурлинский — нижний (подрудный) и сегендыкский — верхний (рудный) [3, 4].

Подрудный горизонт характеризуется частым чередованием прослоев (0.2–0.5 м) темных глин с редкими остатками рыб и светлых глин с ходами илоедов. В северо-западной части Южного Мангышлака мощность отложений не превышает 1–5 м, тогда как в юго-восточной она увеличивается до 180 м.

Отложения сегендыкского горизонта простираются к северо-западу и юго-востоку от Карагинского поднятия, в пределах которого их мощность колеблется от 1 до 5 м и достигает максимальных величин в Жазгурлинской (75 м) и Сегендыкской (230 м) синклиналиях.

В верхнем горизонте довольно четко выделяются три пачки. Нижняя (собственно рудная) включает в себе все известные

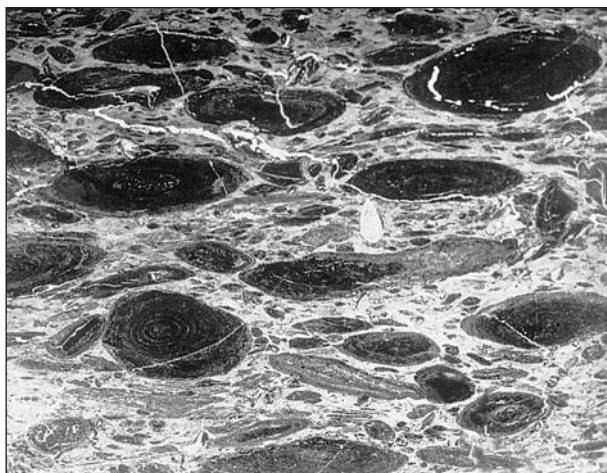
здесь месторождения урана и редких земель, располагающиеся в ее основании и приуроченные к единому рудному горизонту.

В северо-западной части района, в подошве рудной пачки, почти повсеместно залегает маломощный (5–15 см, редко до 30 см) сульфидный прослой, основную массу которого составляют уплощенные стяжения сульфидов железа (0.5–1 см), сцементированные глинистым веществом и сажистым пиритом. Он прослеживается (хотя некоторые авторы это отрицали) на обширной территории на расстоянии 150–200 км и фиксирует поверхность внутриформационного размыва [1, 5], весьма резко выделяясь на фоне подстилающих пород черным цветом, неслоистой текстурой и максимальным содержанием пирита и марказита (40–60%). Обращает на себя внимание присутствие значительного ко-

личества (до 10%) остатков ихтиофауны, в том числе крупных сочлененных позвонков (до 5–8 см) и редких обломков обугленной (углефицированной) древесины, размером до 10–15 см. Нередко в основании этого прослоя наблюдаются линзовидные скопления хорошо окатанных зерен кварца и других терригенных минералов (до 1%), а также обломки раковин моллюсков.

Особенности сульфидного прослоя свидетельствуют о его формировании во внешней мелководной шельфовой части морского бассейна, значительно удаленной от прибрежной зоны. Здесь на выровненной поверхности дна водоема, располагавшейся на границе зон взмучивания и осаждения на глубинах 30–50 м [6], в течение длительного периода времени накопление глинистых осадков было минимальным, что способствовало обособленности



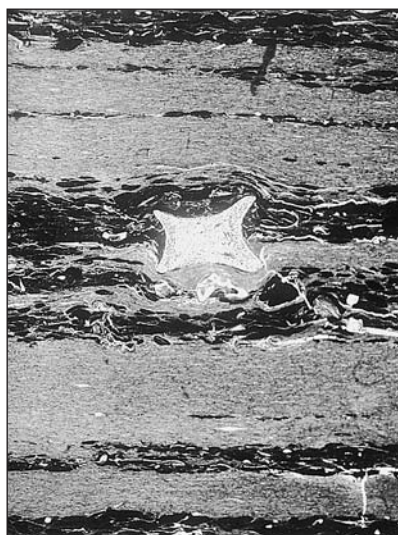


Сульфидный прослой. Округлые стяжения пирита ( $\text{FeS}_2$ ) в глинистом цементе. Месторождение Меловое.



Тонкоизмельченный (1–2 мм) костный детрит в подошве рудной залежи.

Здесь и далее фото автора



Чередование глинистых (светлых) и рудных прослоев с позвонками рыб. Увел. 6.

сульфидов железа на столь обширной территории. Этот прослой залегает в основании рудной пачки только в северо-западной части района, где он прослеживается вплоть до центральной зоны месторождения Меловое. В пределах же Карагинского поднятия на поверхности внутриформационного размыва располагаются только пластовые залежи костного детрита

рыб и слои так называемой костной брекчии (0.1–0.3 м), которые представлены несортированным грубообломочным материалом с крупными костями и позвонками рыб и китообразных млекопитающих. Мощность рудовмещающих отложений здесь не превышает 2–5 м, а в осевой части поднятия они полностью размыты.

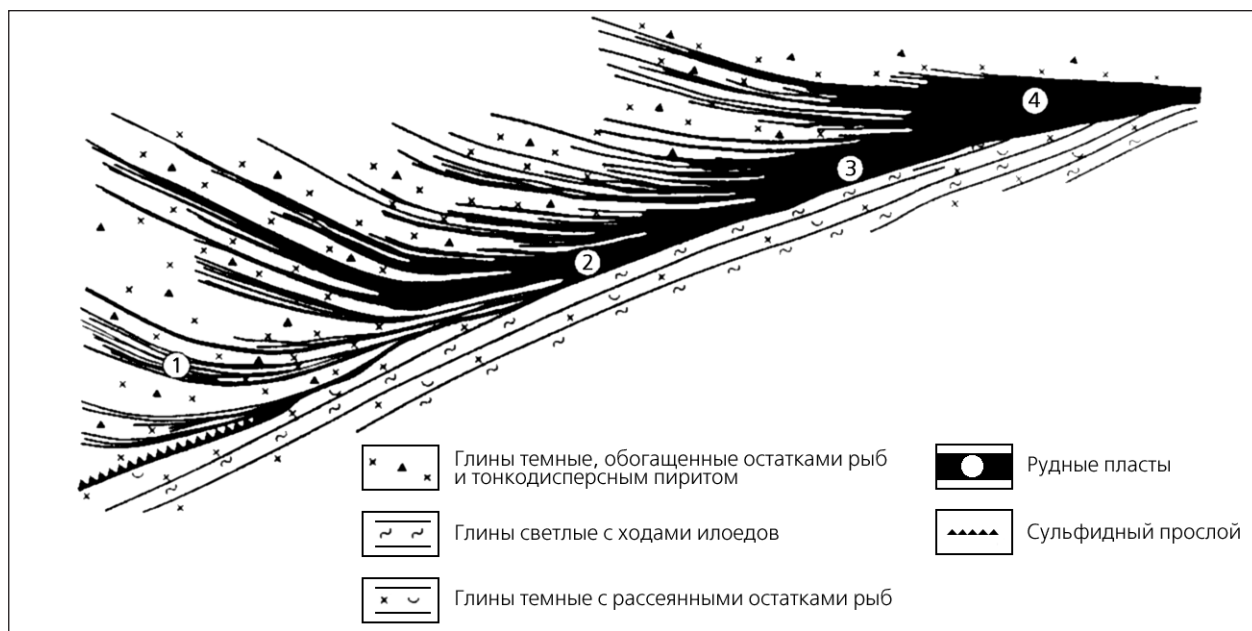
Характерная особенность отложений рудной пачки — наличие в них маломощных (10–15 см) глинистых туффитов, представленных однородной массой монтмориллонита, который образован за счет разложения вулканического стекла, сохранившегося в виде реликтовых мелких игольчатых выделений.

На основе детального изучения и сопоставления разрезов по скважинам автор пришел к очень важному выводу: сокращенная мощность рудоносных отложений (включая прослой костной брекчии) в районе Карагинского поднятия полностью соответствует по времени накопления всей толще (включая сульфидный прослой) рудной пачки в пределах Сегендыкской и Жазгурлинской синклиналей. Залегające выше по разрезу зеленовато-серые глины

с водорослевидными растительными остатками также характеризуются минимальными мощностями (0–1 м) в пределах Карагинского поднятия и максимальными (20–25 м) в синклиналиях. Главная их особенность — полное отсутствие остатков рыб и тонкодисперсного пирита. Верхняя пачка по строению и вещественному составу похожа на нижнюю рудоносную и отличается от нее наличием маломощных разрозненных прослоев и скоплений костного детрита рыб (от 1–3 см до 10–15 см). Характер распределения здесь точно такой же, как и в нижней (рудной), — в осевой части Карагинского поднятия на большей площади они полностью размыты, а на склонах их мощность составляет 1–5 м.

## Строение и состав рудных залежей

Все органогенно-фосфатные месторождения обнаружены в районе Карагинского поднятия. Рудные тела по составу и строению имеют чрезвычайно большое сходство. Прежде всего бросается в глаза весьма значительная их масштабность. В пла-



Продольный разрез рудной залежи месторождения Меловое.

не чаще всего они имеют вытянутую форму северо-западного и юго-восточного простирания. Рудные залежи более крупных месторождений (Меловое, Томак, Тайбагар) протягиваются на расстояние 18–20 км при ширине от 1 до 7 км, а сравнительно мелких (Тасмурун, Садырны) — на 25–30 км при ширине от 2 до 10 км. Во всех случаях руды залегают на размытой поверхности подстилающих глин, в корытообразных углублениях или промоинах (мульдах), обнаруженных на подводных склонах. Морфология рудных тел определяется палеорельефом и глубиной этих депрессий. В продольных разрезах большинства залежей выделяются компактные и расслоенные участки. Компактные с максимальной концентрацией костного детрита и крупных костей рыб, как правило, имеют минимальную мощность и располагаются в непосредственной близости от свода Карагинского поднятия, а расслоенные находятся на значительном удалении от него, резко увеличиваясь в мощности за счет безрудных глин. Общая мощность пластовых залежей костного детрита



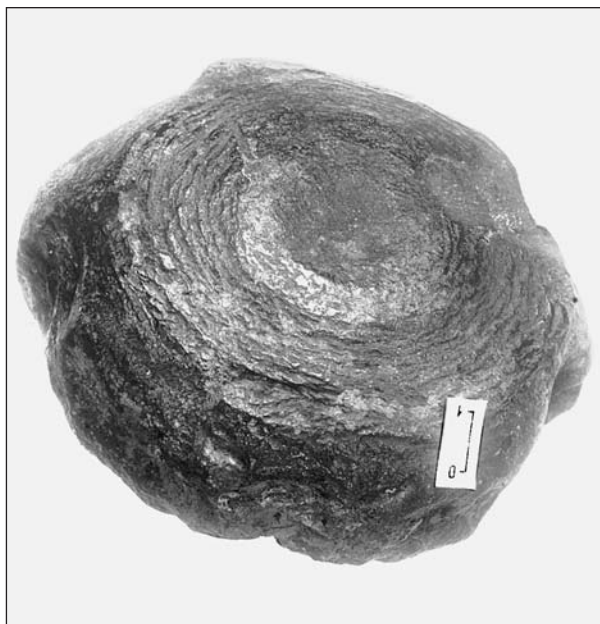
Разрез рудной залежи в забое карьера.

рыб в пределах крупных месторождений колеблется в продольных разрезах от 0,5 до 12 м и в поперечных — от 0,2 до 8 м, тогда как на сравнительно мелких она выдерживается на уровне 1–2 м.

В вертикальных разрезах крупных залежей четко выделяются четыре основных рудных

пласта, характеризующихся ритмичным строением. Начало каждого ритма фиксируется размывом подстилающих пород или нижележащих пластов и накоплением крупнообломочного костного детрита, постепенно переходящего вверх по разрезу в более мелкий. Рудная залежь менее крупного Тасмурунского





Позвонки древних китов из костной брекчии.

месторождения состоит из трех максимально сближенных пластов, а Садырнынского — из двух (до 1 м), разобщенных глинистыми породами (3–7 м). Различия в строении залежей объясняется их удаленностью от осевой части Карагиинского поднятия, а также размещением в разных по форме и глубине мульдообразных промоинах.

Вещественный состав руд различается лишь содержанием основных компонентов. Они представлены слоистой глинистой массой почти черного цвета, насыщенной мелкокораздробленным (0.1–0.5 см) фосфатным костным детритом рыб (до 20–30%) и тонкодисперсным (сажистым) пиритом (до 35–40, реже 50%). Максимальная концентрация костного детрита рыб наблюдается в юго-восточной части месторождения Меловое и в северо-западной — Тайбагара, а наиболее высокое содержание сульфидов железа фиксируется на месторождении Тасмурун, которое расположено недалеко от свода Карагиинского поднятия.

Из всех известных на Мангышлаке пластовых залежей ура-

ноносного костного детрита рыб наиболее интересна самая крупная — на месторождении Меловое. Запасы ее оценивались в 44 тыс. т урана, а количество костного детрита рыб составляло более 70 млн т. В прошлом столетии это уникальное промышленное месторождение, эксплуатируемое на протяжении 30 лет, было практически отработано. И от основной рудной залежи остался единственный монолит мощностью 2.2 м, который по сей день хранится в музее ВИМСа.

Это весьма необычное по своей природе рудное тело размещалось в пределах обширной (90 км<sup>2</sup>) мульдообразной промоины. Оно тянулось в северо-западном направлении на 18 км, при ширине от 1.5 км на юго-востоке до 7 км на северо-западе. Вблизи свода Карагиинского поднятия пластовые скопления костного детрита рыб образовывали единую компактную часть (0.5–3.5 м) и выходили на поверхность. В противоположном направлении они постепенно расслаивались (до 8–10 м), как «конский хвост», и погружались на глубину 180–200 м.

Главная особенность состава месторождения Меловое заключается в сочетании весьма контрастных образований — сульфидов железа и костной брекчии, залегающих на поверхности внутриформационного размыва. Причем сульфидный прослой развит только в погруженной части рудного поля. Здесь он разделяется тонким слоем глин (2 см), и его мощность за счет переотложения тонкодисперсного пирита возрастает от 1 до 30 см с востока на запад.

В наиболее приподнятой юго-восточной части, в подошве рудного тела, залегают прослои костной брекчии (0.1–0.3 м), представленные черным крупнообломочным несортированным материалом. Основная масса костной брекчии состоит из тонкодисперсного пирита (36–37%), костного детрита (22–24%) и глинистого вещества (34–38%), а также карбонатного (2–2.4%) и терригенного материалов (2–2.6%). Здесь часто встречаются очень крупные (до 10–12 см) кости, как сильно окатанные, так и не окатанные позвонки (до 15–25 см), слуховые кости, клыки китообразных



Скелет древнего кита в подошве рудной залежи.



Клык китообразного млекопитающего из костной брекчи.

млекопитающих, многочислен-ные зубы акул (1—5 см), обуглен-ные обломки (20—30 см) и це-лые стволы деревьев (до 6—8 м), а также стяжения и окатанные гальки фосфоритов (до 2 см) и редкие кости птиц (до 5 см).

Обнаруженные нами в по-дошве залежи скелеты древних китов стали сенсационной на-ходкой и привлекли к себе вни-мание отечественных и зару-бежных палеонтологов. В этом

древнем захоронении сотрудни-ца Палеонтологического инсти-тута РАН И.А.Дуброво и исследо-ватель из Чарльстонского музея США А.Е.Сандерс установили но-вые виды зубатых китов, полу-чивших название *Microcetus sharkovi Dubrovo* и *Patriocetus kazakhstanicus* [7, 8].

В западном направлении ни-жний прослой костной брекчи прослеживается на протяжении 10 км, а верхний — на 5. Далее, по мере погружения дна бассей-на, они постепенно замещаются тонкослойной рудной поро-дой, обогащенной мелкими ос-татками рыб, которые за преде-лами месторождения рассеива-ются в глинистой толще. К севе-ру, на расстоянии одного-двух километров, наблюдается более резкий переход крупнообло-мочного материала в мелкораз-дробленный.

Таким образом, из приведен-ных материалов четко видно, что главную роль в образовании грандиозных пластовых скопле-ний костного детрита рыб игра-ло Карагиинское поднятие, кото-рое было основным источником сноса органогенного материала и сульфидов железа. Заслуживает внимания приуроченность мак-симальной концентрации иско-

паемых остатков ихтиофауны и тонкодисперсного пирита к компактным частям рудных за-лежей, которые располагались в непосредственной близости от свода. Весьма интересно присут-ствие в компактных частях руд-ных залежей обломков костей рыб с повышенной магнитной восприимчивостью [9]. Это не-обычное явление объясняется наличием в порах костей меха-нической примеси ферромаг-нитного минерала — мельнико-вита ( $\text{FeS}_2$ ). Максимальное коли-чество ископаемых остатков рыб с повышенной магнитной вос-приимчивостью концентрирует-ся на приподнятых (мелковод-ных) участках, тогда как в отно-сительно погруженных они поч-ти не встречаются. Это свиде-тельствует о том, что дезинтегра-ция скелетов рыб происходила в более окислительных условиях по сравнению с локализацией костного детрита.

### Палеогеографическая обстановка в рудный период

Перед тем как перейти к рас-шифровке условий формирова-ния рудных залежей уранонос-





Деформированный ствол обугленного дерева в кровле рудного пласта.

ного костного детрита, остановимся кратко на общей палеогеографической обстановке, существовавшей в дорудный период. В конце жазгурлинского времени обширная мелководная область шельфа была выведена на поверхность и превращена в довольно плоскую низменную сушу, покрытую древесной растительностью. Возникновение островного архипелага вызвало интенсивное химическое вывет-

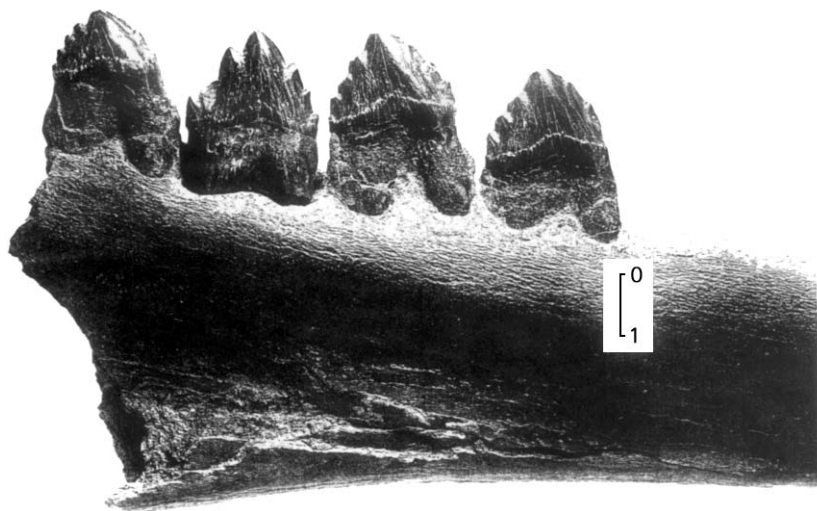
ривание пород и обусловило накопление на обширной площади в северо-западной части Южного Мангышлака большого количества гидроксидов железа.

Переход к сегендыкскому (рудному) периоду осадконакопления ознаменовался весьма резким изменением тектонического режима: общая нивелировка и стабилизация сменилась контрастными дифференциальными движениями — ин-

тенсивным прогибанием области шельфа в северо-западной части Южного Мангышлака и образованием конседиментационной структуры, названной Карагиинским поднятием.

Впоследствии оно превратилось в обширную подводную отмель с весьма благоприятными биологическими условиями для обитания морской фауны и флоры. Небольшая глубина водоема, хороший доступ солнечного света, прогрев воды и обилие фитопланктона способствовали интенсивному развитию ихтиофауны. Именно эти факторы главным образом обусловили прижизненное скопление огромных рыбных масс в районе на протяжении довольно длительного периода времени. Обращает на себя внимание видовой состав морских обитателей. Судя по ископаемым остаткам ихтиофауны и млекопитающих животных, здесь проживали преимущественно мелкие виды сельдевых, крупные хищные рыбы — тунцы и акулы, а также зубатые киты, которые в современных условиях обычно встречаются в глубоководных морских бассейнах. Весьма разнообразный видовой состав обитателей древнего водоема свидетельствует об одновременной гибели различных групп морских рыб и млекопитающих животных [10].

Вполне естественно, что ежегодное отмирание рыб, а также периодическая массовая их гибель приводили к захоронению огромных масс органического материала в илах, на дне отмели, и образованию сапропелевых осадков, содержащих большое количество полных или частично разрушенных скелетов рыб. В дальнейшем, при воздымании Карагиинского поднятия и вывода отмели в зону активной гидродинамики, происходил размыв осадков и вынос органического материала (главным образом мягких тканей рыб) в погружающуюся северо-западную часть бассейна.



Челюсть зубатого кита *Patriocetus kazakhstanicus*.



Разложение органического вещества вызвало резкий дефицит кислорода и возникновение сероводородного заражения в илах и наддонных водах морского бассейна. Сложившаяся на ранней стадии формирования рудоносных отложений устойчивая аноксическая обстановка способствовала интенсивному осаждению железа и образованию сульфидного прослоя на весьма обширной площади в северо-западной части Южного Мангышлака.

### Особенности формирования рудных залежей

Формирование пластовых залежей костного детрита рыб началось одновременно с образованием сульфидного прослоя, т.е. в период максимального поднятия Карагинской отмели, которая распространялась вплоть до центральных частей месторождений Мелового и Тайбагар. На приподнятой площади месторождения Мелового сульфиды железа и скопления костного детрита были размывы. В процессе переотложения этих компонентов в первую очередь взмучивались и выносились сульфиды и наиболее мелкие остатки рыб, осаждавшиеся в относительно погруженной части рудного поля, а крупные кости и позвонки концентрировались главным образом в виде костной брекчии на склонах.

Образование Карагинской отмели в палеорельефе дна водоема и периодический вывод ее на поверхность обусловили существенные изменения в гидродинамическом режиме морского бассейна. Это существенно отразилось на характере и направлении морских течений. В районе отмели вероятнее всего возникли узконаправленные постоянные и циркулярные течения, которые размывали отложения на морском дне и способствовали образованию мульдообразных углублений и локализации в них

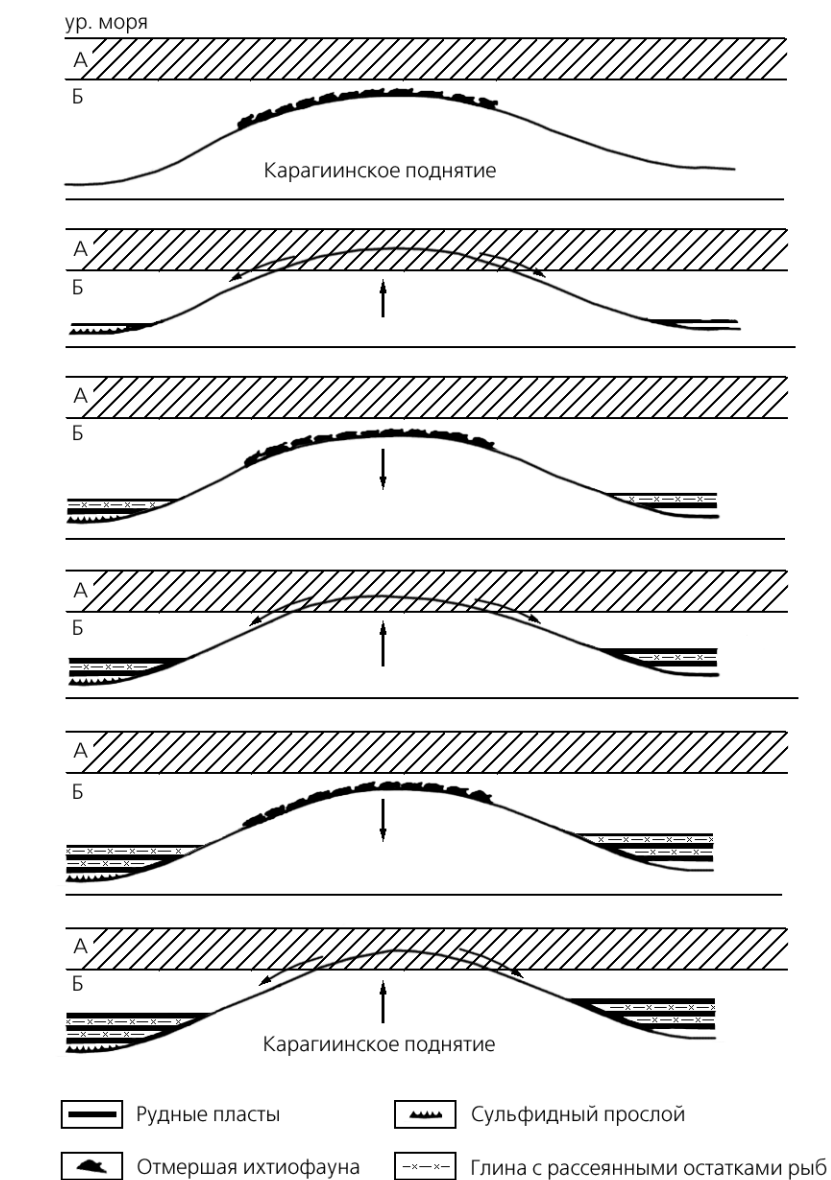


Схема образования рудных залежей. Буквами обозначены: А — зона взмучивания, Б — зона осаждения.

костного детрита. Расположение рудных залежей и ориентировка остатков ихтиофауны свидетельствуют о том, что разнос костного вещества происходил со стороны отмели постоянными морскими течениями по двум противоположным направлениям. В то же время на распространение костного детрита оказывали большое влияние и волновые движения. Если течения переносили его в строго определенных

направлениях на довольно значительные расстояния, то волны «растаскивали» на обширные площади к северу в пределах мульдообразных углублений. Что касается дезинтеграции скелетов отмерших рыб и млекопитающих морских животных и дробления костного материала, то они происходили в мелководной прибрежной зоне.

Морфология рудных залежей костного детрита рыб отражает

ритмичный характер тектонических колебаний Карагинского поднятия. Сапропелевые осадки, накапливавшиеся на дне отмели, периодически выводились в зону активной гидродинамики, где подвергались размыву и переотложению в зону осаднения.

Таким образом, главные факторы, определившие накопление и локализацию в рудных пластах ураноносного костного детрита рыб, — гидродинамический режим и палеорельеф дна морского бассейна.

В процессе формирования пластовых скоплений костного детрита интенсивность и амплитуда колебаний Карагинского поднятия постепенно уменьшались, что нашло свое отражение в строении и расположении залежей в пределах рудного поля. В последнюю, завершающую фазу значительно ослабленных тектонических колебаний происходило накопление преимущественно мелкого костного детрита рыб, который по мере заполнения и выколаживания мультислойных углублений рассеивался на обширных площадях, образуя лишь маломощные прослои (5—10 см) вблизи свода. Во время формирования рудоносных отложений периодически проявлялась деятельность подводных вулканов, на что указывают прослои туффитовых глин (до 0.1—0.15 м), фиксируемые на четырех уровнях в разрезе нижней рыбной пачки в северо-западной части района.

В конце формирования рудоносных отложений резко сокра-

тилось поступление органогенного материала в бассейн седиментации; в результате произошла смена аноксидных условий на кислородные. В пострудное время происходило накопление светлых глин с остатками водорослей, в которых почти полностью отсутствуют остатки рыб и тонкодисперсный пирит. О причинах, вызвавших столь резкое сокращение привноса органогенного материала и сульфидов железа, можно только предполагать. Возможно, что в это время в пределах отмели возникли неблагоприятные условия для обитания ихтиофауны, и рыбы покинули этот район. Как бы то ни было, в период формирования глин с остатками водорослей накопление органического вещества и костного детрита не происходило, что способствовало восстановлению нормального газообмена в наддонных водах.

Итак, тайна образования уникальных экзотических месторождений урана и редких земель в общем раскрыта. Но до настоящего времени остается загадкой — откуда поступали в олигоценый морской бассейн редкие элементы и огромные массы железа?

Отметим, что основная концентрация урана и редких земель, а также сульфидов железа в костных остатках происходила после гибели рыб. Еще на ранней стадии изучения обломочного материала минералог Е.В.Рожкова установила, что уран и редкие земли накапливались в костном детрите путем

сорбции их из морской воды. Самые высокие концентрации металлов обнаружены в наиболее мелких остатках, характеризующихся большой свободной поверхностью. Как известно, в современных морях и океанах редкие элементы присутствуют в ничтожно малых количествах (0.003 мг/л). Не исключена возможность поступления урана и редких земель в олигоценый морской бассейн из подводных вулканических очагов, о деятельности которых свидетельствуют туффитовые прослои.

Что касается источника гидроксидов железа, то он скорее всего располагался в пределах Карагинского поднятия. Характер распределения тонкодисперсного пирита и марказита и наличие мельниковита в порах костей свидетельствуют о их накоплении в присводовой части Карагинского поднятия также после гибели рыб. Столь интенсивный процесс аутигенного пиритообразования мог происходить лишь в присутствии большого количества реакционноспособного органического вещества. Именно это обстоятельство обусловило локализацию огромного количества сульфидов железа в рудных залежах.

В заключение еще раз подчеркнем, что сероводородное заражение бассейна седиментации происходило за счет привноса и разложения огромных масс органического вещества, что способствовало сохранению остатков рыб и сорбции на них урана и редких земель. ■

## Литература

1. Шарков А.А. // Литология и полез. ископаемые. 2000. №3. С.290—307.
2. Коченов А.В., Зиновьев В.В. // Геохимия. 1960. №8. С.714—725.
3. Шарков А.А. // Литология и полез. ископаемые. 1963. №2. С.262—272.
4. Столяров А.С., Шарков А.А. // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1976. №6. С.20—32.
5. Мстиславский М.М., Столяров А.С. // Литология и полез. ископаемые. 1968. №6. С.160—166.
6. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. М., 1962. Т.1. С.49—51.
7. Дуброво И.А., Шарков А.А. // Докл. АН СССР. 1971. Т.198. №6. С.1403—1406.
8. Dubrovo I.A., Sanders A.E. // J. of Vertebrate Paleontology. 2000. V.20. №3. P.577—590.
9. Полушкина А.П., Шарков А.А. // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1973. №9. С.110—116.
10. Бронгерсма-Сандерс М. Причины массовой гибели организмов в морях. М., 1962.

# НОВЫЙ ТИП ИОННЫХ КАНАЛОВ

А.Г.Камкин, И.С.Киселева, В.Н.Ярыгин

## Вездесущие каналы

Ионными каналами и насосами пронизана плазматическая мембрана любой клетки любого организма — и животного, и растительного. Через них в клетку попадают и выводятся из нее разные катионы (главным образом  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{K}^+$ ) и анионы (в основном  $\text{Cl}^-$ ), благодаря чему осуществляется множество электрических и биохимических процессов. Такие каналы, «прошивающие» двойную липидную мембрану насквозь, образованы молекулами белков или их комплексами, а за счет разницы в зарядах частиц (ионов), которые находятся внутри клетки и в межклеточной среде, на мембране, т.е. между ее внутренней и наружной сторонами, возникает разность потенциалов и течет электрический ток.

Большинству мембранных каналов характерна специфичность, т.е. способность пропускать ион только определенного типа. Такая избирательность обусловлена его зарядом и/или структурой тех участков белка в стенках канала, которые обеспечивают взаимодействие с ионом. Канал ни в коем случае нельзя уподобить трубке стро-



**Андрей Глебович Камкин**, доктор медицинских наук, профессор Российского государственного медицинского университета (РГМУ), на медико-биологическом факультете которого заведует курсом физиологии.



**Ирина Сергеевна Киселева**, доктор медицинских наук, профессор того же университета.

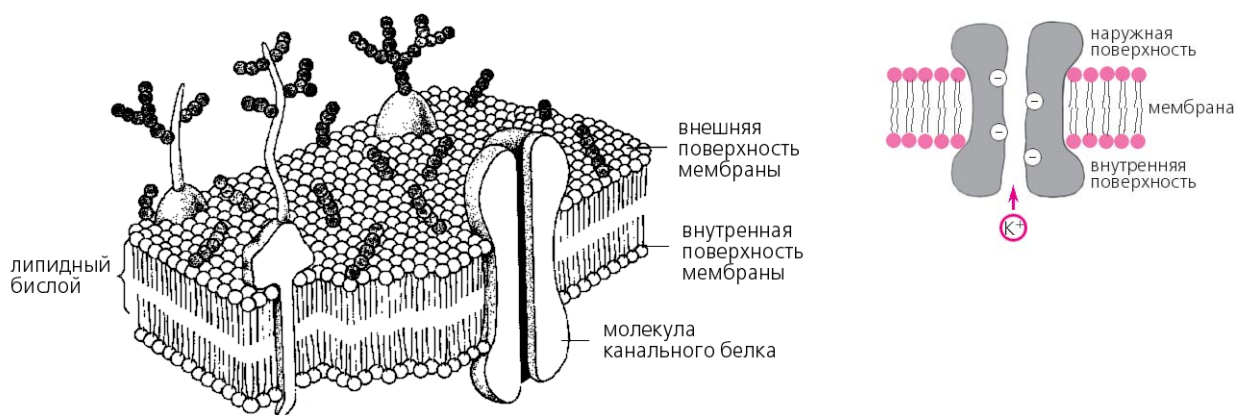
Оба автора занимаются изучением физиологических и биофизических процессов, протекающих в клетках сердца.



**Владимир Никитич Ярыгин**, академик РАН, доктор медицинских наук, заведующий кафедрой биологии и ректор РГМУ. Область научных интересов — популяционная биология клеток. Монографии: «Патологические и приспособительные изменения нейрона» (совместно с Н.Е.Ярыгиным, М., 1973), «Иммунологическая и химическая десимпатизация» (совместно с И.М.Родионовым и А.А.Мухаммедовым, М., 1988), «Механоэлектрическая обратная связь в сердце» (совместно с А.Г.Камкиным и И.С.Киселевой, М., 2002).

© А.Г.Камкин, И.С.Киселева,  
В.Н.Ярыгин





Схематическое изображение участка клеточной мембраны (слева) и калиевого канала.

гого сечения или полости определенной конфигурации. Это скорее лабиринт из быстро движущихся молекулярных групп и зарядов белка. Если такой лабиринт открыт, через него проникают ионы — примерно  $10^6$  ионов в секунду. Но существующие в каналах ворота открываются ненадолго, причем чаще всего — в ответ на какое-либо возмущение мембраны: изменение мембранного потенциала, механическую стимуляцию, связывание с определенной сигнальной молекулой и т.д. В 80-х годах ушедшего века было известно уже около 50 видов каналов, и с той поры открываются все новые и новые. В их числе и те, что чувствительны к механическому воздействию (в научной литературе их принято называть механосенситивными каналами — МСК).

Механочувствительность — это универсальное свойство практически всех клеток, начиная с бактериальных. Однако до сих пор неясно, каков принцип передачи и преобразования механического стимула и каким образом клетка отвечает на него. Можно полагать, что в этом участвуют — одновременно или порознь — компоненты цитоскелета (сложной

сети белковых нитей, которые пронизывают цитоплазму), такие как актин и тубулин; клеточные поверхностные белки интегрины и, наконец, сами МСК. Из перечисленных структур, обеспечивающих механическую передачу в клетке, каналы наиболее просты для изучения, поскольку их ответ возникает быстро и его легко оценить.

Такие каналы существуют в слуховых клетках, механорецепторах, мышечных веретенах, сосудистом эндотелии и нейросенсорной ткани, и здесь их физиологическая роль вполне понятна. МСК найдены также в клетках растений, где механочувствительность определяет рост корней вниз, а побегов — вверх. Менее ясно, почему электроневозбудимые клетки (клетки крови, эпителия) нуждаются в каналах, которые отвечают на механические стимулы. Но ведь в любой клетке поддерживается определенный объем, а это неизбежно связано с деформацией мембраны — растяжением или сжатием. Регуляция клеточного роста также требует участия механопередающей системы, именно она определяет изменения клеточных размера и формы. Не исключено, что

безудержный рост, характерный для раковых клеток, может включать поломку именно этой системы.

МСК — это ионный канал, который воспринимает механическую деформацию клеточной мембраны как полноценный физиологический сигнал. (Заметим, наиболее важная информация о свойствах таких каналов, как бы это ни показалось странным, впервые была получена в экспериментах на клетках, чья основная функция не связана с чувствительностью к механическому воздействию.)

О структуре механочувствительных каналов, т.е. канальных белков, еще очень мало информации. Всего несколько лет назад были клонированы кодирующие гены пяти МСК, в бесклеточной системе эти белки синтезированы, определена их аминокислотная последовательность и третичная структура [1]. Один из них — канальный белок MscL из кишечной палочки *Escherichia coli*. Ген кодирует только маленькую пептидную субъединицу (15 кД), а из нее потом формируется полимер, содержащий 136 аминокислотных остатков, центральная область которого представляет собой гидрофобную пору. В полимер-

ном белке таких субъединиц-мономеров скорее всего шесть; это больше, чем в четырех других «клонированных» канальных белках. MscL из кишечной палочки обладает проводимостью в 3 нСм (она измерена при 200 мМ KCl), и в клетке это не единственный тип МСК, всего их пять. Активность канала, сформированного белком MscL, определялась не в клетке *E.coli*, а в липосоме, которая не содержит никаких элементов цитоскелета. Поэтому можно полагать, что полная система, которая способна воспринимать натяжение мембраны и затем изменять вероятность открытия канала, содержится в самих канальных белках.

Подобно любому другому ионному каналу, МСК открывается и закрывается, и происходит такая смена состояний скачком (ворота канала хлопают) — за счет преобразования пространственной организации канального белка. Но на

один и тот же стимул и даже одинаковую его силу механочувствительные каналы могут реагировать по-разному: одни при растяжении мембраны активируются (их обозначают английской аббревиатурой SAC — stretch-activated channel, т.е. активируемые растяжением каналы), другие инактивируются (SIC — stretch-inactivated channel). Важно, что растяжение не изменяет ни ионную селективность канала, ни его проводимость, а, по-видимому, увеличивает вероятность открытия ворот.

### С чем связана мембранная механика

Чтобы понять работу МСК, необходимо знать все силы, вовлеченные в изменение состояния этих каналов, и принципы возникновения самих сил при том или ином воздействии на мембрану. Измерения сил не-

просты, поскольку они могут быть направлены и параллельно, и перпендикулярно мембране из-за того, что вызваны действием разных компонентов — внеклеточного матрикса (сложной упорядоченной сети макромолекул — полисахаридов и белков, которая заполняет пространство между клетками любого органа), липидного бислоя мембраны и цитоскелета. В клетках эвкариот, например, механическое воздействие распространяется не только в плоскости мембраны, но и перпендикулярно ей.

Рассмотрим сначала, как мембранная механика может быть связана с липидным бислоем. Изменить его нормальное натяжение можно разными способами, скажем механически, т.е. приложив к «точечному» участку мембраны отрицательное давление [2]. При таком воздействии бислоем окажется растянутым и канал откроется. Другой способ —

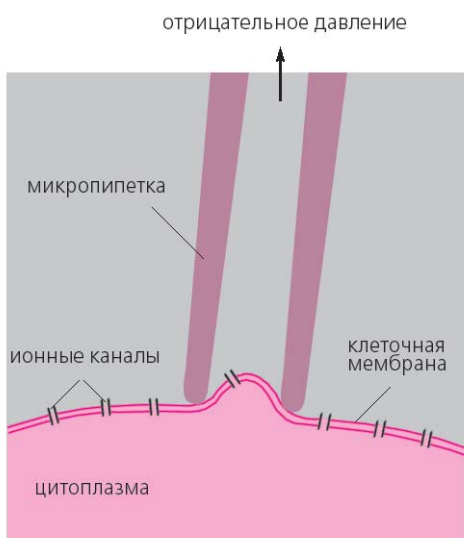
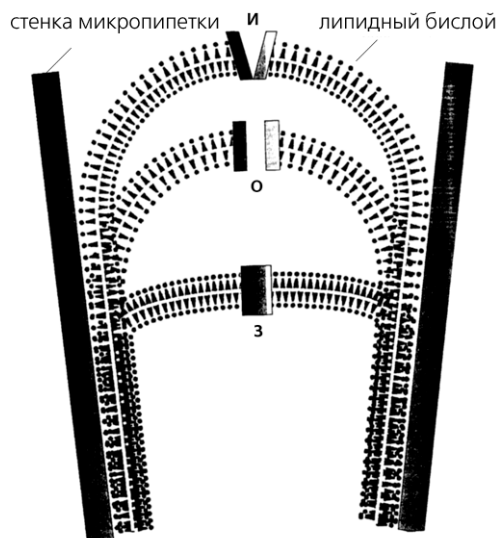
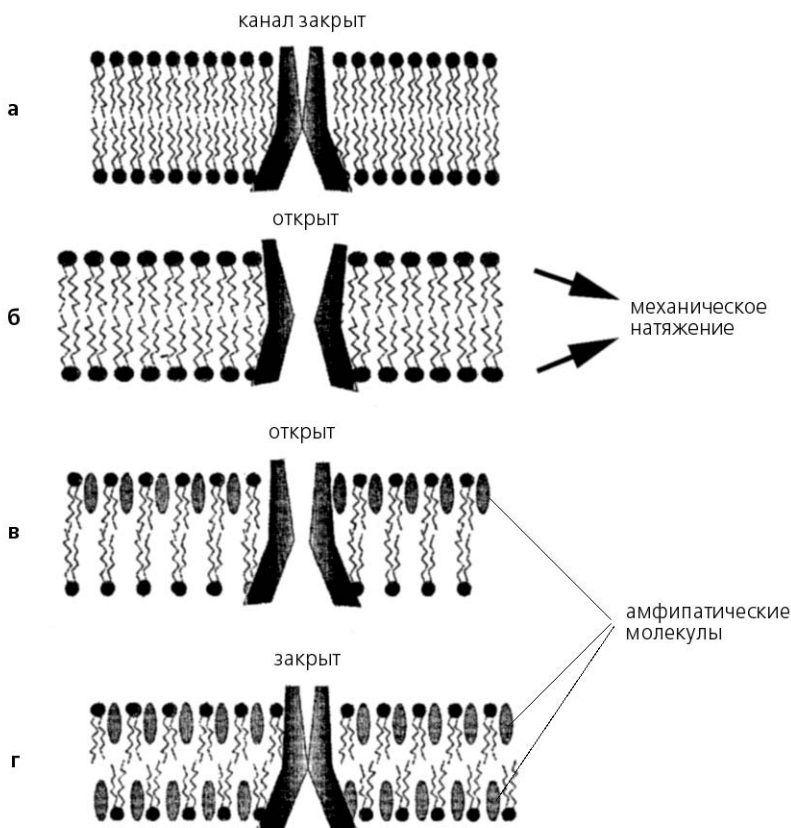


Иллюстрация метода, позволяющего изучать проводимость единичного канала в интактной клетке. Если кончик микропипетки, подведенной к мембране, плотно соединяется с ней, ток может течь только через канал, который расположен на участке мембраны, закрывающем этот кончик.



Разные состояния механочувствительного канала при действии на мембрану отрицательного давления. В покое относительно плотная мембрана удерживает ворота канала закрытыми (з), но создаваемое отрицательное давление тянет мембрану вверх, растягивает ее, и канал открывается (о). Если в дальнейшем оно остается неизменным, натяжение во внутреннем липидном слое снимается и канал инактивируется (и).



Состояния канала в покое (а), под действием механического натяжения липидного бислоя (б) и при внедрении амфипатических молекул только во внешний слой (в) или в оба сразу (г).

внедрить какое-либо жирорастворимое амфипатическое соединение (имеющее и гидрофильные, и гидрофобные свойства) только в один — внешний — монослой или в оба сразу. В первом случае расширившийся внешний слой вызовет растяжение и внутреннего слоя, в результате чего канал тоже откроется. Но если это соединение введено в оба монослоя и в равном количестве, то площадь и внешней, и внутренней стороны мембраны увеличивается одинаково и разницы в натяжении монослоев не возникает. Канал остается закрытым. Примечательно, что такие эффекты были продемонстрированы разными исследователями на каналах из объектов, весьма далеких по

таксономическому положению, — из бактерии *E. coli* и из скелетной мышцы цыпленка.

Такая экспериментально установленная механика, вероятно, не полностью соответствует тому, что происходит в клетках организма. Даже в опытах с механическим растяжением участка мембраны за счет отрицательного давления канал не просто открывается, а потом закрывается, когда снято воздействие. Он проходит через несколько состояний. В покоящейся относительно плотной мембране канал бывает закрыт. Отрицательное давление растягивает оба ее слоя, и канал открывается. Но если в клетке есть избыточные свободные липиды, со временем они встроются во внутренний слой

мембраны, его плотность и натяжение вернуться к нормальным величинам и канал окажется инактивированным.

Чтобы приблизить условия эксперимента к физиологическим, необходимо изучать влияние на чувствительные к ней каналы растяжением целой клетки, а не фрагментов мембраны. Однако это крайне сложно сделать, поскольку очень часто не удается избежать локального растяжения мембраны или даже ее повреждений. Но все же существуют пригодные для подобных экспериментов клетки. Это клетки скелетной мышцы и кардиомиоциты. Правда, кардиофизиологи потратили много времени, пока нашли способ растягивать клетку, чтобы измерить зависимость ионных токов от ее длины [3]. Нам удалось это сделать только в 2000 г. [4].

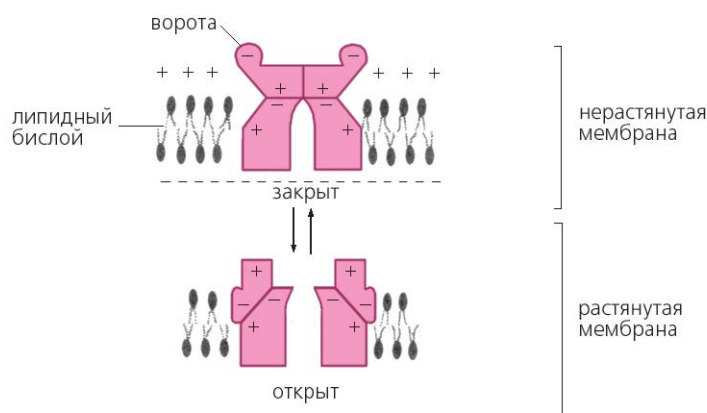
А вообще целые клетки (не только кардиомиоциты) пытались растянуть несколькими способами. Например, эндотелиальные и легочные раздували гидростатическим давлением, т.е. вводили в них жидкость, или растягивали, культивируя на сокращающихся подложках. Но конечный результат — выяснение роли МСК в ответах клеток на воздействие — не был однозначным. Клетки заставляли и набухать, помещая их в гипотонический раствор. Хотя это весьма нежный способ деформации, он тоже оказался непригодным. При увеличении объема клетки трудно понять, в результате чего меняется проводимость мембраны (или ее потенциал, или сила тока, смотря что измеряется), так как это воздействие влияет и на цитоскелет, и на органеллы, изменяет площадь мембраны и может непосредственно активировать некоторые ионные каналы, включая и чувствительные к механическому стимулу.

Попробуем теперь разобраться, какие же элементы мо-



гут быть вовлечены в физиологический ответ клетки на прямое механическое воздействие. Скорее всего он обусловлен взаимосвязанным функционированием ее структурных элементов и вторичных посредников. Известно, например, что внеклеточный матрикс и белки клеточной поверхности, соединенные с цитоскелетом посредством трансмембранных белков, способны активировать ионные каналы при деформации клетки [5]. Значит, какие-то элементы цитоскелета преобразуют механический сигнал в электрофизиологический ответ или биохимический. Большинство исследователей считают, что в качестве преобразователя служит фибриллярный белок актин, молекулы которого образуют актиновые нити, филаменты, пронизывающие всю цитоплазму. Это небезосновательное заключение, поскольку известно, что разнообразные, хорошо охарактеризованные ионные каналы и транспортные системы клетки «привязаны» к цитоскелету или непосредственно, или через белок анкирин. Мысль о связи МСК с цитоскелетом первым высказал в 1986 г. Ф.Сакс [6]. Он полагал, что именно эти внутриклеточные структуры задействованы в открывании и закрывании канальных ворот. К сожалению, до сих пор приводятся лишь косвенные доказательства того, что цитоскелет участвует в работе механочувствительных каналов. Что же касается роли внеклеточного матрикса в их функционировании, то здесь почти нетронутое поле деятельности.

Понять работу какого-либо клеточного механизма можно с помощью веществ, которые нарушают его или активируют. Четких активаторов пока не найдено, соединений же, способных блокировать, ингибировать, механочувствительные каналы, сейчас известно несколько. Пожалуй, самый при-



Переход механочувствительного ионного канала из одного состояния в другое. Знаками плюс и минус показаны отрицательные и положительные заряды на канальном белке и мембране.

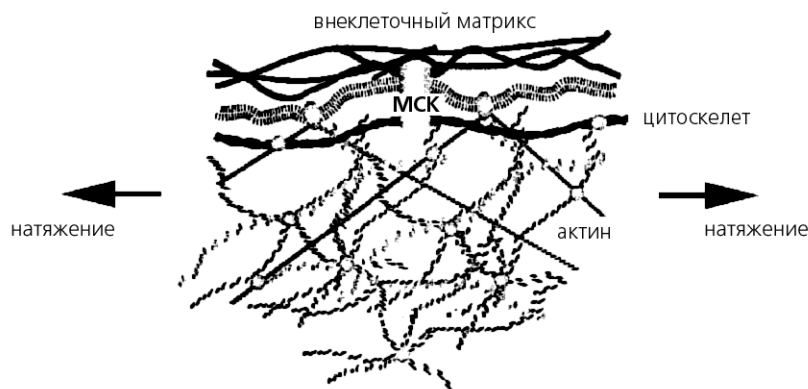
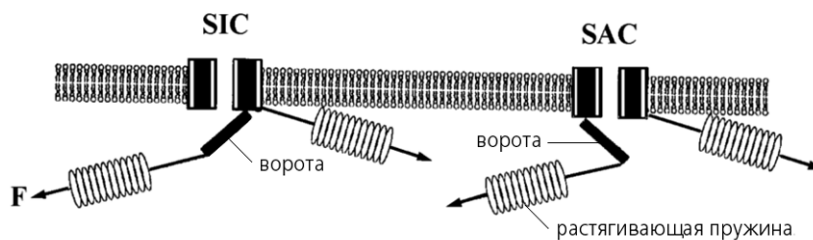


Схема расположения механочувствительного канала и некоторых структур, способных влиять на его функционирование. Механические воздействия могут передаваться к каналам через внеклеточный матрикс и разные компоненты цитоскелета.



Пример передачи механической силы (F) на ворота канала, инактивируемого механическим воздействием (SIC) и активируемого им (SAC) через элементы цитоскелета (здесь в виде растягивающей пружины). При одинаковых направлении приложенной силы и ее величине в первом случае ворота закрываются, во втором — открываются.

влекательный пока ингибитор — трехвалентный ион гадолиния (Gd). Он влияет на многие МСК — от тех, что имеются, например, в бактериальных каналах с высокой проводимостью (3 пСм) до низкопроводящих (25 пСм) каналов эвкариотных клеток. Возможно, этот крупный ион непосредственно закрывает вход в ворота канального белка, но нельзя исключить, что гадолиний стягивает окружающие канал липиды бислоя и мембрана резко меняет свои механические свойства, в результате чего ворота переходят из одного состояния в другое. К сожалению, каким образом действует Gd<sup>3+</sup>, точно пока не установлено.

### Функциональная классификация МСК

Не имея исчерпывающей информации о механизмах работы механочувствительных каналов, исследователи все же пытаются понять, как МСК регулируют транспорт ионов через мембрану и в каких физиологических процессах они участвуют.

К настоящему времени известно, что существуют МСК, в частности активируемые растяжением (SAC), которые проводят только катионы [2, 3]. Такие каналы идентифицированы в клетках самых разных тканей и тем не менее имеют много общих черт, например: характерный диапазон единичной канальной проводимости, лежащий в интервале от 25 до 35 пСм; проницаемость как для одно-, так и двухвалентных катионов; способность блокироваться низкими (микромольными) концентрациями гадолиния.

Проницаемость активируемых растяжением каналов для Ca<sup>2+</sup> особенно важна. Именно эти катионы в качестве вторичных посредников участвуют в регуляции ионного транспор-

та, благодаря чему обеспечивается изменение объема клетки. Кроме того, через эти каналы натрий входит в клетку, а калий выходит из нее. С катионами кальция связан, как установлено, морфогенез. Существуют, например, доказательства, что на ранних стадиях развития морского животного *Boltenia villosa* вход Ca<sup>2+</sup> в клетку стимулирует ее сокращения, в результате чего смыкаются края нервной трубки эмбриона. В эндотелии кровеносных капилляров ионы кальция, проникшие через каналы, которые активируются растяжением мембраны, стимулируют синтез веществ, вызывающих расширение сосудов. Катионные SAC обнаружены в клетках остеосаркомы человека (там их три типа), а также в хрусталике амфибий. Вероятно, эти каналы могут участвовать в образовании катаракты. И наконец, они существуют в клетках растений и грибов. По всей вероятности, у первых они вовлечены в передачу топографических и геотрофических сигналов, а у вторых выполняют какую-то функцию, характерную только для них.

Кроме активируемых растяжением каналов, которые пропускают одно- и двухвалентные катионы, существуют строго калиевые каналы (их обозначают SAC<sub>к</sub>). Они менее широко распространены, чем только что рассмотренные, и, кроме того, одни чувствительны к ионам кальция, другие — нет.

Сейчас известно несколько типов нечувствительных к кальцию SAC<sub>к</sub>. В кардиоцитах моллюсков найдены хлопающие каналы с двумя открытыми и тремя закрытыми состояниями. Поскольку они могут быть активными и без растяжения клетки, возможно, именно они вносят вклад в нормальный мембранный потенциал. Отрицательное давление, созданное на микроучастке мембраны с помощью пипетки (до 25 мм рт. ст.), значительно увеличивает вероятность открытия этих

каналов без изменения их селективности или единичной проводимости (она обычно составляет 33 пСм). В мембране почечных канальцев протея из рода *Necturus* обнаружены два типа SAC<sub>к</sub>: тоже хлопающие, но с более высокой проводимостью (около 45 пСм), и открывающиеся в среднем на 1.5 мс, а также каналы с проводимостью 30 пСм, которые открываются на 40—50 мс. Эти каналы активируются и отрицательным давлением, и осмотическим раздуванием, причем в последнем случае вероятность их открывания увеличивается, но проводимость остается неизменной.

Что касается SAC<sub>к</sub>, чувствительных к ионам кальция, то среди них обнаружены крупные K<sup>+</sup>-каналы, которые различаются степенью отклика на растяжение. Эти каналы были идентифицированы у крыс и кроликов в собирательных трубочках почек и реагировали на любое из трех воздействий: изменение потенциала, концентрацию цитозольного кальция и растяжение мембраны. В экспериментах подобные каналы из гладкомышечных клеток легких могут работать, кроме того, под действием еще одного стимула — экзогенных жирных кислот.

И наконец, существуют анионные механочувствительные каналы. Большинство их обладает высокой проводимостью — больше 300 пСм — и часто регулируется не только механическим натяжением, но и специфическими химическими соединениями, например цитохалазином. Анион-селективный канал, обозначаемый MscS, с проводимостью 900 пСм имеется в клетках кишечной палочки и, возможно, служит для регуляции ее объема.

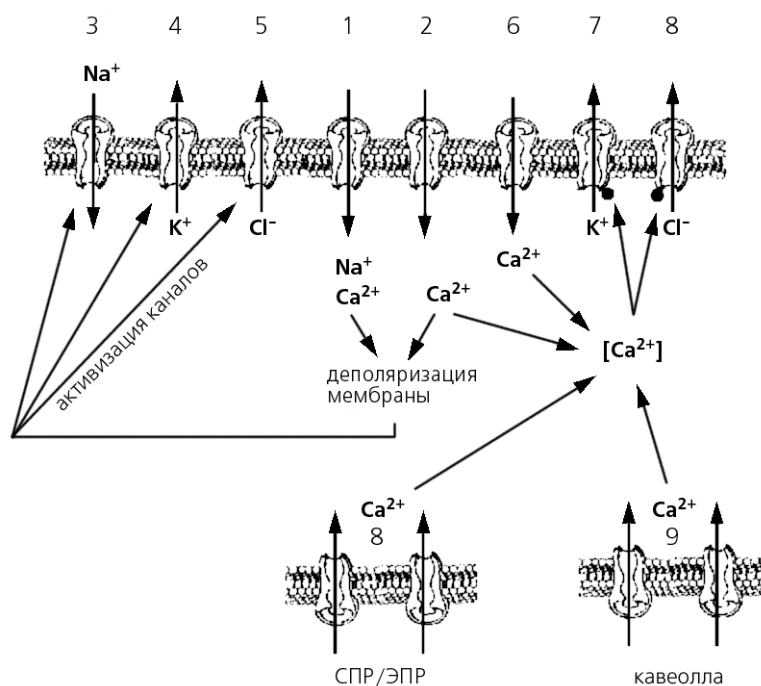
Помимо упомянутых каналов, селективных или к катионам, или к анионам, существуют и такие, которые почти с равной «охотой» пропускают и те и другие ионы. Проводимость

таких неселективных каналов невысока: 22 пСм в клетках почки опоссума и 36 пСм в мембране дрожжей.

В начале статьи мы упоминали, что бывают активируемые (SAC) и инактивируемые (SIC) механическим стимулом каналы. Второй тип сравнительно редок, сейчас он идентифицирован в клетках дистрофических мышц мышей, гладкой мышцы желудка жабы, в астроцитах и нейронах улиток и миоцитах предсердия. Присутствие в дистрофических мышцах такого типа каналов особенно интригует, поскольку в нормальных мышечных клетках содержатся в основном активируемые каналы, а на долю инактивируемых приходится около 2%. Значительная вероятность их открывания и проницаемость для  $\text{Ca}^{2+}$  могут определять то повышенное содержание этого катиона, которое обнаружено в клетках мышей.

Каналы, реагирующие на механический стимул противоположным образом, т.е. SAC и SIC, существуют в одних и тех же клетках как некий общий фильтр. В нейронах улитки, например, он поддерживает минимальную калиевую проницаемость при промежуточной величине натяжения мембраны.

Описываемые здесь каналы служат для преобразования механических сигналов, возникающих в ходе различных процессов в тканях (в том числе и в сердце), в электрические. Судя по современным данным, обусловлено это как неселективной проводимостью для одновалентных катионов, так и проводимостью для ионов  $\text{Ca}^{2+}$ . При механическом воздействии неселективные катионные каналы, независимо от того, активируемые они или инактивируемые, пропускают в клетку ионы натрия и кальция, селективные же — только кальция. Клеточная мембрана при этом деполяризуется, а внутриклеточная концентрация этих ионов повышается. В свою оче-



**Пути преобразования механического раздражения клетки в электрический ответ.** При механическом воздействии на клетку через неселективные катионные каналы (1) в нее входят  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$ , а через селективные (2) — только  $\text{Ca}^{2+}$ , благодаря чему мембрана деполяризуется. Такая механически индуцированная деполяризация активирует другие каналы — управляемые потенциалом: натриевые (3), калиевые (4) или хлорные (5) и кальциевые (6). Попавший через них в клетку кальций и дальше индуцирует собственное высвобождение, но уже из эндоплазматического и саркоплазматического ретикулума (ЭПР, СПР), а возможно, и из кавеолл. За счет увеличения концентрации кальция в клетке включаются калиевые и хлорные каналы (7, 8), зависимые не от потенциала, а от ионов  $\text{Ca}^{2+}$ .

редь деполяризацией активируются каналы, управляемые потенциалом, — натриевые и калиевые или хлорные и кальциевые. Если открываются кальциевые каналы, концентрация  $\text{Ca}^{2+}$  в клетке увеличивается, что индуцирует его высвобождение также и из цистерн эндоплазматического и саркоплазматического ретикулума. Возможно, содержание кальция увеличивается и за счет выхода его из кавеолл через гипотетические механически чувствительные каналы. Эти процессы и далее повышают уровень  $\text{Ca}^{2+}$  в клетке, что может активировать зависимые от него калиевые или хлорные кана-

лы. Входящие натриевые и кальциевые токи через зависимые от потенциала  $\text{Na}^+$ - и  $\text{Ca}^{2+}$ -каналы еще более усиливают деполяризацию мембраны, но выходящие калиевые (и/или хлорные) токи снижают эту деполяризацию. Таким образом, совокупность работы МСК и управляемых потенциалом каналов формирует электрофизиологический ответ клетки. Поскольку запускают такой ответ МСК, поиск специфических блокаторов становится особенно важным.

До сих пор твердо еще не определено, благодаря чему включаются МСК, т.е. какой структурой клетки осуществляется пе-



редача механического сигнала на канал, заставляя его активироваться или инактивироваться. Недавние микромеханические эксперименты подтверждают представления о том, что работа механочувствительных

ионных каналов может зависеть от цитоскелета.

Мы очень кратко обсудили сложившиеся к настоящему времени представления о таких каналах. И хотя их еще предстоит изучать и изучать, уже сейчас

ясно, что через них осуществляется и прямая, и обратная связь механики и электричества в сердце — здоровом или пораженном болезнью. Но об этом речь пойдет в другом номере журнала. ■

## Литература

1. *Sadoshima J., Izumo S.* // Annu. Rev. Physiol. 1997. V.59. P.551—571.
2. *Sachs F., Morris C.E.* // Rev.Physiol. Biochem. Pharmacol. 1998. V.132. P.1—77.
3. *Hu H., Sachs F.* // J. Mol. Cell. Cardiol. 1997. V.29. P.1511—1523.
4. *Kamkin A., Kiseleva I., Isenberg G.* // Cardiovasc. Res. 2000. V.48. P.409—420.
5. *Sachs F.* // Soc. Gen. Physiol. Ser. 1997. V.52. P.209—218.
6. *Sachs F.* // Membrane Biochemistry. 1986. V.6. P.173—195.

### Канада устремляется к Марсу

До сих пор в исследованиях космического пространства Канада играла второстепенную роль, поставляя другим странам отдельные приборы и устройства, например, радиолокационное оборудование или механическую «руку» для Международной космической станции. Ныне ситуация меняется: летом 2001 г. руководство Канадского управления по исследованию космоса собралось в Монреале ученых своей страны и предложило разработать подробный план в значительной мере самостоятельных научных работ в данной области. Особое внимание должно быть уделено изучению Марса и его естественных спутников — Фобоса и Деймоса. Предполагается создать оригинальное оборудование для бурения поверхности этих небесных тел и отправки полученных образцов на Землю.

Среди уже имеющихся в Канаде достижений, «посланных» на Марс, называют разработан-

ный в Университете Калгари (провинция Альберта) анализатор космической плазмы, который предназначен для сбора данных, проясняющих историю возникновения и состав атмосферы Красной планеты. Прибор, запущенный на борту японского аппарата «Nozomi», должен прибыть в район назначения в 2003 г. Кроме того, канадскими учеными и инженерами был создан находящийся на высокой орбите радар, который прекрасно зарекомендовал себя при построении детальной карты поверхности Марса.

Технический опыт этой страны может быть использован также при конструировании и постройке американских марсоходов, в частности их малой механической «руки». Полярники научной станции на о.Аксель-Хейберг (Канадский Арктический архипелаг) будут участвовать в экспериментах, окончательная цель которых — поиски следов жизни на Марсе. В отдаленной перспективе канадские ученые выражают готовность принять участие

в американских планах высадки людей на Марс.

Представитель НАСА США, научный руководитель исследования Марса Дж.Гарвин (J.Garvin), приветствовал расширение сотрудничества с канадскими коллегами. Он отметил, что НАСА уже занято созданием к 2007 г. посадочного аппарата на Марс. Но для следующих аналогичных экспериментов, планируемых на 2009 г., американцы готовы объединить свои усилия с канадцами, в частности, при разработке специального бурильного оборудования, механической «руки» и нового радара.

Исполнительный директор Канадского управления по исследованию космоса М.Гарно (M.Garneau) полагает, что правительство страны сочтет теперь нужным значительно увеличить соответствующие ассигнования, ныне составляющие лишь 234 млн долл. США в год.

Science. 2001. V.292. №5523. P.1813 (США).

# Магнетизм входит в полимеры



*Иногда важнее знать, как человечество размышляло над данной проблемой, чем искать собственное ее решение.*

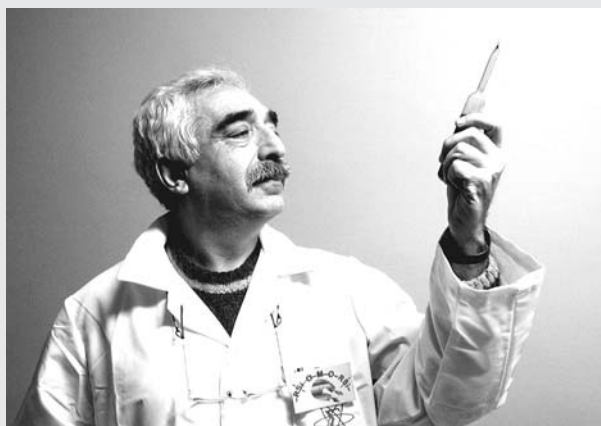
М.М.Левицкий

Э.Ренан

**В** 1820 г. два великолепных естествоиспытателя — Х.К.Эрстед и А.М.Ампер — обнаружили взаимосвязь электрических и магнитных явлений. С этого момента началось планомерное изучение природы загадочного свойства некоторых веществ — их способности самопроизвольно намагничиваться.

Согласно современным представлениям, магнитные характеристики веществ определяются в основном спиновым магнитным моментом неспаренных электронов. Все ферромагнетики работают как магнитные материалы только благодаря неспаренным  $d$ -электронам некоторых переходных металлов. Это в первую очередь главная магнитная триада — железо, кобальт и никель. Кроме того, магнетизм может обеспечиваться и неспаренными  $f$ -электронами некоторых лантаноидов. Применяемые на практике материалы такого типа создаются в настоящее время исключительно методами неорганической химии, однако в последние годы эта монополия начинает постепенно нарушаться при совместном натиске органической и элементорганической химии.

© М.М.Левицкий



**Михаил Моисеевич Левицкий**, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института элементоорганических соединений им.А.Н.Несмеянова РАН. Область научных интересов — молекулярный ферромагнетизм, элементорганические полимеры.

## Как возникает ферромагнетизм?

Основные закономерности этого явления известны. Вещество становится ферромагнитным, если содержит парамагнитные центры — атомы или молекулы с неспаренными электронами, — магнитные моменты которых выстроены параллельно (к сожалению, всегда есть вероятность их антипараллельной направленности, в результате

чего получается антиферромагнетик). Управляет таким выстраиванием обменное взаимодействие — квантовомеханический процесс, организующий неспаренные электроны в «сообщество», в котором магнитные моменты ориентированы определенным образом. Для ферромагнетиков энергия обменного взаимодействия положительна, для антиферромагнетиков — отрицательна. Чем выше абсолют-

ное значение этой величины, тем выше температура, при которой разрушается магнитное упорядочивание.

В физике магнитных явлений установлена одна важная закономерность: положительное обменное взаимодействие легче возникает в тех случаях, когда неспаренные электроны расположены на внутренних орбиталях атомов. Поэтому *d*-электроны переходных металлов имеют некоторое преимущество перед *p*-электронами свободных радикалов. Получить ферромагнетик на основе элементов с *p*-электронами — довольно сложно, поскольку их магнитные моменты обычно ориентируются антипараллельно. Тем не менее с помощью некоторых остроумных приемов создать на их основе ферромагнетики все же можно [1].

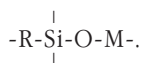
Хотя переходные металлы с *d*-электронами и предпочтительнее, их участие в создании ферромагнетизма не решает всех проблем. Исследованные к настоящему времени металлосодержащие элементоорганические соединения чаще всего антиферромагнитны. Лишь в некоторых из них, синтезированных целенаправленно, т.е. с учетом особенностей выстраивания спиновых магнитных моментов, удастся создать ферромагнетизм [1, 2]. Обычно он возникает при низких температурах, а при повышении температуры легко разрушается. В итоге исследователи пришли к выводу, что надо искать принципиально новые металлосодержащие системы для получения устойчивого ферромагнетизма.

Конструирование ферромагнитных структур в неорганических системах на сегодня хорошо разработано, созданы десятки металлических магнитных сплавов, а также композиций из оксидов металлов (например, ферриты). Формируя такие материалы, специалисты руководствуются тем, что магнитные свойства вещества очень сильно зависят от струк-

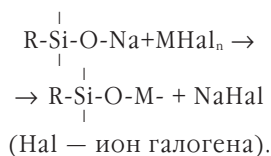
туры. Есть случаи, когда одно и то же соединение без изменения состава может приобрести ферромагнитные свойства за счет вариаций структурных параметров. Например,  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  с гексагональной кристаллической решеткой — антиферромагнетик, а  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  с кубической решеткой — ферромагнетик. Потому весьма привлекательно ввести атомы металлов в состав полимерной молекулы. В результате появляется возможность регулировать формирование магнитных материалов принципиально иным методом — изменением структуры полимерной цепи.

## Хороший объект — залог успеха

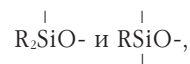
Мы обратились к полимерталлорганосилоксанам, соединениям, содержащим атомы металлов в силоксановой цепи. Их основной структурный фрагмент —



Чем был продиктован выбор? Методы синтеза таких соединений в настоящее время хорошо разработаны и позволяют вводить в силоксановую цепь атомы большинства металлов. Более того, при необходимости можно плавно и в широких пределах варьировать атомное соотношение металла и кремния M/Si, а также сочетать в одном соединении разные металлы. Существуют способы получения разнообразных силоксановых цепей: линейных, разветвленных, циклоконденсированных. Основным же методом введения металла в силоксановую цепь — это обменная реакция органосилоанолатов натрия с галогенидами металлов:



Исходя из главных закономерностей высокомолекулярной химии, полимерные цепи можно строить только из фрагментов с функциональностью не менее двух. Поэтому мы избегали фрагментов типа  $\text{R}_3\text{SiO-}$ , а использовали исключительно



что приводило соответственно к образованию линейных и разветвленных полимеров. Последние обладают особенностью исключительно легко образовывать циклические фрагменты в цепи. В некоторых случаях благодаря этому возникают каркасные индивидуальные металлорганосилоксаны. Именно такие соединения очень помогли нам в исследованиях, поскольку особенности их структуры удастся довольно точно выяснить с помощью рентгеноструктурного анализа.

Определив круг исследуемых объектов, мы решили вначале изучить влияние особенностей состава и структуры на магнитные свойства вещества и затем вмешаться в процесс формирования магнитных структур некоторыми дополнительными приемами.

Отмечу кратко, что большинство необходимых измерений мы проводили на магнитных микровесах, которые позволяют определять при различных температурах намагниченность  $\sigma$  в зависимости от величины напряженности внешнего магнитного поля  $H$ . Для парамагнетиков, как известно, типична линейная зависимость (рис.1). Магнитную восприимчивость вещества  $\chi = \sigma/H$ , которая количественно характеризует его способность намагничиваться, вычисляли по экспериментальным данным. Важная характеристика магнитных свойств — величина произведения  $\chi T$  ( $T$  — температура опыта, К). По закону Кюри для парамагнетиков, она остается постоянной в широком интервале температур. Отклонение от закона указыва-



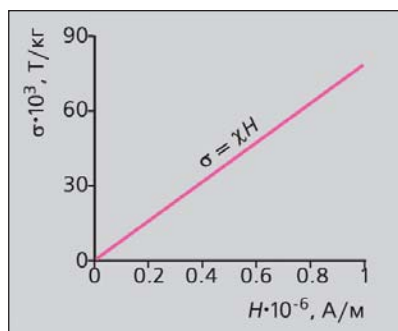


Рис.1. Зависимость намагниченности вещества от величины напряженности внешнего магнитного поля.

ет на возникновение магнитной организации. Кроме того, значение  $\chi T$  позволяет вычислить усредненную величину магнитного момента для каждого парамагнитного центра. Его называют эффективным магнитным моментом  $\mu_{\text{эф}}$  и измеряют в магнетонах Бора (мБ). Далее экспериментатор имеет возможность сопоставить найденное значение  $\mu_{\text{эф}}$  с теоретической величиной, которую вычисляют по

формуле  $\mu = \sqrt{n(n+2)}$  ( $n$  — количество неспаренных электронов у атома металла).

## Что могут рассказать ажурные каркасы

Индивидуальные металлоорганианосилоксаны привлекательны не только изящной архитектурной молекул, но и разнообразием свойств [3]. Вначале мы исследовали магнитные свойства каркасного кобальтфенилсилоксана (рис.2, слева), структура которого напоминает незавершенную силоксановую корзинку с тремя атомами кобальта. Экспериментально найденный магнитный момент каждого из них составлял 3.82 мБ и был близок к теоретической величине — 3.87 мБ. Это значит, что атомы кобальта ведут себя как независимые парамагнитные центры, поскольку они разделены довольно большим (15 Å) расстоянием, а их влияние друг на друга, как показывают результаты опытов, не передается через силоксановую цепочку.

Совсем иные магнитные характеристики обнаружены у каркасного соединения с шестью атомами кобальта. Молекула такого кобальтфенилсилоксана напоминает призму (рис. 2, справа). В ее основании лежат шестичленные силоксановые циклы, соединенные металлоксидными переключками. Атомы кобальта в молекуле объединены координационными связями в кольцо так, что фрагменты Co-O-Co обеспечивают косвенное (т.е. через атомы кислорода) обменное взаимодействие между атомами металла.

Из результатов магнитных измерений выяснилось, что магнитный момент (его можно вычислить по величине  $\chi T$ ) соединения с шестью атомами кобальта повышается с понижением температуры:  $\mu_{\text{эф}} = 4.05$  мБ при 298 К и 5.28 мБ при 42 К (рис.3). Если вспомнить, что, по закону Кюри для парамагнетиков, магнитный момент не зависит от температуры, то, стало быть, это уже не парамагнитные центры.

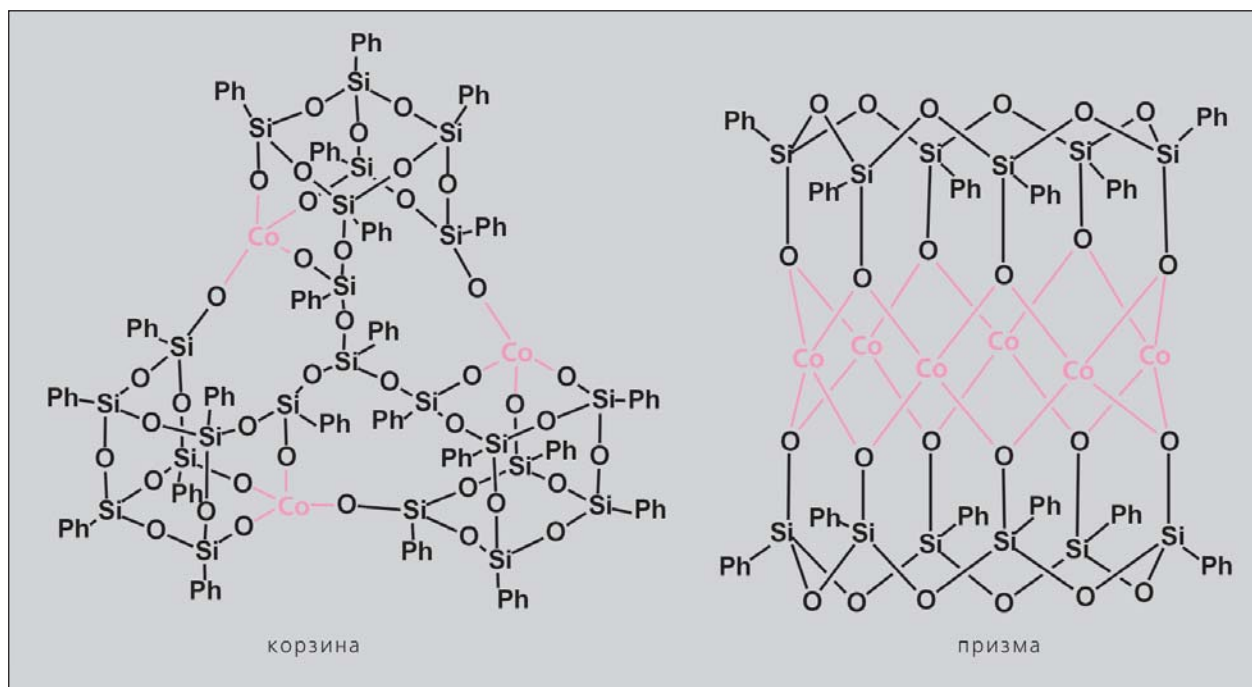


Рис.2. Каркасные кобальтфенилсилоксаны.

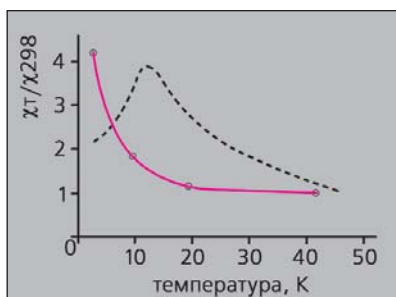


Рис.3. Относительная магнитная восприимчивость фенилсилоксана с шестью атомами кобальта.

В большинстве случаев температурная зависимость магнитного момента достигает максимума при некоторой температуре, а дальнейшее ее понижение приводит к антиферромагнетизму (см. пунктирную кривую на рис.3). Полученная нами температурная зависимость отличалась от традиционной отсутствием максимума (см. гиперболу на рис. 3). Наши результаты оказались неожиданными, поскольку для других соединений кобальта в кислородном окружении, например алкоксидов и ацилатов, всегда проявляется отчетливый антиферромагнетизм. Причина очевидна — особенно

сти структуры кобальтфенилсилоксана.

Дело в том, что на сегодня не существует точных рецептов, как обеспечить ферромагнитное выстраивание спиновых магнитных моментов в соединении. Однако известны некие общие закономерности. Как уже было сказано, магнитные свойства вещества могут заметно меняться при перестройке кристаллической решетки. Поэтому важно обращать внимание на структурные параметры, прежде всего — на величину угла М-О-М.

В призматическом фенилсилоксане, содержащем шесть атомов кобальта, этот угол относительно мал — 88.1° (для сравнения: в алкоксипроизводных кобальта он меняется в пределах 102–107°), что и объясняет отсутствие антиферромагнитного участка на приведенной уже температурной зависимости. В обменное взаимодействие вовлечены лишь атомы кобальта, относящиеся к данной молекуле, между атомами соседних молекул оно не возникает. Убедившись, что магнитные свойства изученных металлоорганосилоксанов зависят от состава и строения, мы перешли к исследованию их полимерных систем.

## От индивидуальных соединений к полимерным системам

Такие металлсодержащие системы привлекательны тем, что в обменное взаимодействие может быть вовлечено неизмеримо большее количество атомов металлов. В компактном виде состав полимерных металлоорганосилоксанов выглядит как  $[(PhSiO_{1.5}) \cdot (MO)_n]_x$ . Исследуя такие системы, мы постоянно учитывали основной параметр — атомное соотношение  $n$  металла и кремния (M/Si). Для содержащих кобальт полимерных органосилоксанов с  $n$ , лежащем в диапазоне 0.8–0.12, и медьсодержащих ( $n = 0.4–0.5$ ) магнитные свойства описывались приблизительно той же зависимостью, что и для ажурной призмы. Этим мы подтвердили, что магнитные характеристики полимерных металлсодержащих силоксанов, построенных на основе трифункциональных кремнийорганических фрагментов  $\equiv SiR$ , близки к тем, которые найдены для индивидуальных соединений. Такое сходство обусловлено преобладанием в полимерных системах полициклических фрагментов с малым углом М-О-М.

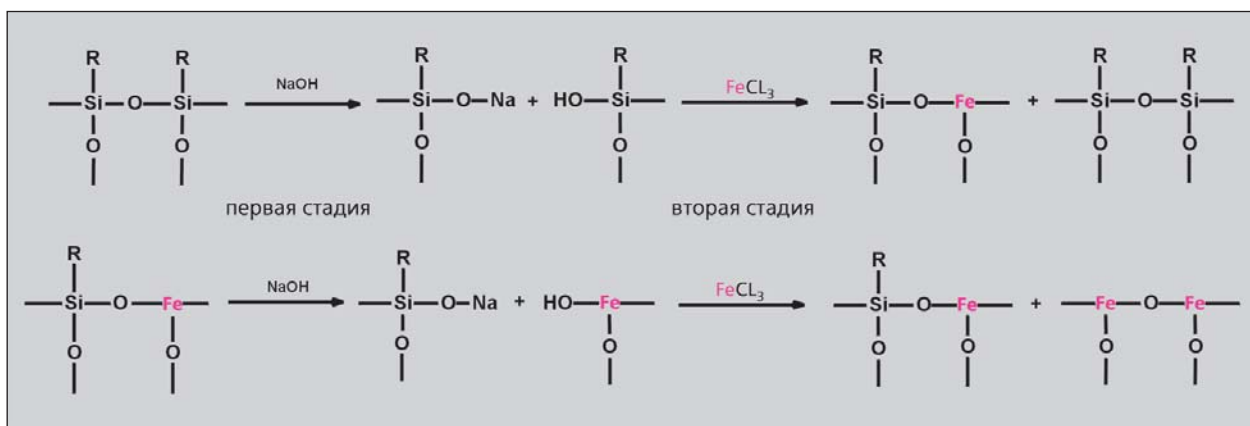


Рис.4. Схема введения дополнительных атомов железа в полимерный силоксан (приведены фрагменты молекул), уже содержащий эти атомы.

Перейдя к содержащим железо полимерным силоксанам, мы получили возможность исследовать объекты, у которых соотношение  $M/Si$  изменяется в более широком диапазоне. Атомы железа направленно внедряли в уже имеющуюся систему по разработанной ранее методике. На первой стадии частично расщепляли щелочные силоксановые и металлсилоксановые фрагменты, а на второй — по схеме обменной реакции вводили дополнительное количество металла (рис.4):

Процедуру повторяли несколько раз, постепенно увеличивая содержание железа. В итоге удалось получить растворимые соединения с рекордным количеством атомов Fe, где соотношение  $M/Si$  достигало трех, а в полимере возникали металлородные фрагменты  $-M-O-M-$ . На одном из промежуточных этапов можно вводить атомы других металлов, чтобы образовались смешанные полимерные системы.

Имея соединения с большим разбегом величины  $n$ , мы смогли установить некоторые интересные закономерности. Только что упомянутые ковалентно связанные металлородные фрагменты  $-M-O-M-$  возникают в структуре полимера — внутри его цепей — и образуют кластеры. Но за счет координационных связей могут возникать такие же группировки  $-M-O-M-$  и между цепями (рис.5). Различно ли влияние внутрицепных и межцепных фрагментов  $-M-O-M-$  на магнитные свойства? Ответ можно получить, если «разбавлять» атомы Fe силоксановыми фрагментами. Тот набор соединений с различным соотношением  $Fe/Si$ , который был нами получен, имитирует такое разбавление. Измерения, проведенные в широком диапазоне температур (5–300 K), позволили для ионов  $Fe(III)$  рассчитать  $J_{\phi}$ , которая количественно характеризует энергию ферромагнитного обменного взаимодействия (табли-

ца). Обычно ее приводят в размерности температуры (в кельвинах), впрочем, с помощью константы Больцмана ее можно выразить в более привычных единицах — джоулях. Зависимость  $J_{\phi}$  от соотношения  $Fe/Si$  достаточно отчетлива, как видно из таблицы. Но для вычисленной величины антиферромагнитного взаимодействия  $J_{\text{эф}}$  подобной зависимости не найдено, она постоянна для всех исследованных полимеров и равна 8 K.

Полученные результаты дают ответ на вопрос о влиянии кластеров, образующихся внутри цепей и между ними, на магнитные свойства полимерной системы. Содержание внутрицепных металлородных кластеров меняется с изменением состава, т.е. это переменная величина, стало быть, именно она определяет ферромагнитное взаимодействие. А возможность возникновения координационных кластеров между цепями существует всегда, независимо от состава. Это постоянный параметр, который относится к антиферромагнитному взаимодействию. Закономерность изменения  $J_{\phi}$  (см. таблицу) указывает, что усиленно накачивать металл в силоксановую цепочку нецелесообразно, поскольку более высокие значения  $J_{\phi}$  свойственны полимерам с пониженным количеством металла.

Найденные нами закономерности были выявлены в содержащих металл органосилоксанах с разветвленной цепью полимера. А справедливы ли такие закономерности для подобных систем, силоксановая цепь в которых линейна? Из общих соображений ясно, что фрагменты гибких цепей, соединяющие атомы металлов, предоставляют большую свободу металлородным группировкам в образовании как внутри-, так и межцепных координационных кластеров. Естественно, что для построения линейных цепей нельзя использовать металлы со степенью окисления выше двух,

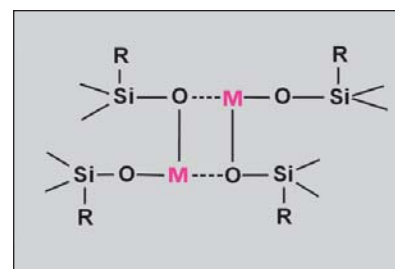


Рис.5. Пример координационных кластеров, образующихся между цепями полимера.

например  $Fe(III)$ , так как они будут играть роль разветвляющих центров. Приемлемы лишь металлы  $M(II)$ . Мы получили линейные медьсодержащие полимерные органосилоксаны с диметильным и дифенильным обрамлением атомов кремния  $[-(R_2Si-O)-(Cu-O)_y]_x$  (здесь R — метильный Me и фенольный Ph группы) и соотношением  $M/Si$ , лежащем в диапазоне 0.3–2.5.

Структурными исследованиями было установлено, что в соединениях с  $M/Si \leq 0.5$  атомы металла объединены исключительно в межцепные координационные кластеры, а внутрицепных не содержат. Этот факт помог нам интерпретировать магнитные свойства исследуемых объектов. Проанализировав изменение  $\mu_{\text{эф}}$  в интервале температур 80–298 K, мы обнаружили, что ферромагнитное взаимодействие преимущественно возникает при пони-

Таблица

Зависимость константы обменного взаимодействия  $J_{\phi}$  от соотношения атомов железа и кремния ( $Fe/Si$ )

$Fe/Si$	$J_{\phi}$ , K
0.18	70
0.49	65
1.11	33
1.56	31
1.61	28
2.63	4



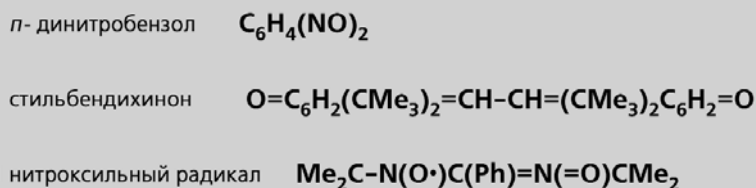


Рис. 6. Лиганды, которые позволяют объединить атомы металлов в общую систему, связанную обменным взаимодействием.

женном содержании металла ( $Cu/Si < 0.5$ ). Именно в таких соединениях присутствуют гибкие фрагменты  $-Si-O-Si-$  и нет внутрицепных кластеров. Сопоставляя полученные результаты, приходим к логическому выводу: ферромагнитное взаимодействие в координационных межцепных кластерах становится возможным, когда они соединены гибкими звеньями.

Из всего этого следовало, что магнитная упорядоченность в полимерных системах зависит от структуры цепи и основного параметра соединений — соотношения  $M/Si$ . Меняя то и другое, можно регулировать магнитную упорядоченность. Участие органического обрамления скорее всего второстепенно и проявляется во влиянии на конформацию полимерной цепи.

## Полимеры могут быть магнитными

Все рассмотренные эффекты — это магнетизм на микроуровне. Имеется в виду ферромагнитное взаимодействие, возникающее в молекуле лишь с двумя парамагнитными атома-

ми, у которых спиновые магнитные моменты выстроены параллельно, и потому величина  $J$  имеет положительное значение. Но существует еще и макроэффект, когда вещество является собой магнит в обычном понимании. Двух или даже десяти атомов здесь недостаточно, необходима ферромагнитная фаза, т.е. домены, содержащие  $10^3$ – $10^4$  атомов. Можно ли получить макроэффект на металлсодержащих органосилоксанах? Чтобы проверить это, мы попытались создать такую фазу двумя способами.

В первом варианте объединили атомы металлов в общую систему, связанную обменным взаимодействием, для чего вводили в нее низкомолекулярные органические соединения: *p*-динитробензол, стильбендихинон или нитроксильный радикал (рис. 6).

Эти бидентатные (т.е. имеющие два координирующих центра) лиганды попарно связывают атомы металлов и обеспечивают между ними электронную проводимость. Благодаря образующейся при этом сетке из атомов металла, соединенных мостиками сопряженных связей, линейная зависимость  $\sigma(H)$

нарушается, появляется дополнительная намагниченность в слабых полях.

Применяя тот же самый метод, мы решили использовать в качестве проводящих мостиков сами полимерные цепи. Для этого заменили силоксановую цепочку на полисилиановую, известную делокализацией электронов по связям  $-Si-Si-$ , и получили полимеры, в которых металлоксидные фрагменты соединялись полисилиановыми звеньями (рис. 7).

В этой системе наблюдался тот же эффект, что и при введении низкомолекулярных лигандов — появлялась дополнительная намагниченность в слабых полях. В обоих случаях она была невелика. Дело в том, что координирующие молекулы (упомянутые бидентатные лиганды) или полисилиановые цепочки объединяют атомы металлов, распложенные на фиксированном расстоянии, которое определяется размером мостика. Для поиска его оптимального размера необходимы наборы координирующих молекул или цепочек различной длины. Но это дело будущего, а пока нам удалось доказать принципиальную возможность получения ферромагнетиков таким способом.

Второй вариант создания ферромагнитной фазы принципиально отличался от первого. По замыслу, мы намеревались удалить изолирующие силоксановые мостики за счет высокотемпературной поликонденсации в инертной атмосфере. Этому процессу предшествует гомолитический разрыв связи  $Si-Ph$  в металлсодержащем органосилоксане, нагретом до  $600$ – $800^\circ C$ . В результате возникают силильный  $\equiv Si\cdot$  и фенильный  $Ph$  радикалы, а соотношение  $M/Si$  не меняется. В ходе последующих цепных реакций в полимере образуется восстановленный металл  $M^0$ , диспергированный в матрице  $SiO_2$ , а также полифенилены. В том же температурном интервале органосилоксан, содержащий желе-

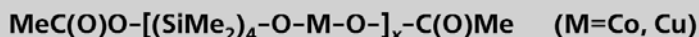


Рис. 7. Полимер, полученный заменой силоксановой цепочки на силиановую.

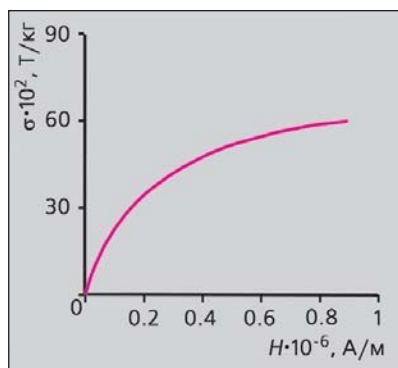
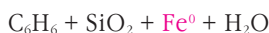
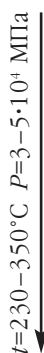
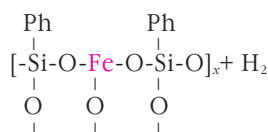


Рис. 8. Зависимость намагниченности ферромагнитного металлсодержащего органосилоксана, подвергнутого высокотемпературной поликонденсации, от величины напряженности внешнего магнитного поля.

зо или кобальт, или оба металла одновременно, конденсируется и в итоге получается ферромагнитный продукт. Экспериментально это подтверждается выходом кривой намагниченности на плато (рис.8). Выяснилось, что намагниченность зависит от состава полимеров: она возрастает с уменьшением M/Si (поскольку большая доля металла оказывается восстановленной), а наибольшей обладают

смешанные полимеры, содержащие железо и кобальт одновременно.

Таким образом, мы нашли приемы, которые позволяют направленно регулировать магнитные свойства. Правда, условия восстановления и конденсации были довольно жесткими. Позже нам удалось провести восстановление молекулярным водородом при температуре 230–350°C и повышенном давлении:



В таких условиях восстанавливается большее количество атомов металла, а продукты не содержат полиароматических

соединений, которые возникают в ходе пиролитических процессов. Примечательно, что, если в силоксановой цепи находятся атомы разных металлов, степень их восстановления не одинакова. Это открывает дополнительные возможности влиять на магнитные свойства.

\* \* \*

Подведем итоги. Синтетические методы весьма перспективны для формирования металлоксидных кластеров с ферромагнитным взаимодействием. Восстановление металлсодержащих органосилоксанов в мягких условиях также дает несколько вариантов получения ферромагнитных полимеров. Наиболее интересен с нашей точки зрения результат, который показывает, что идея объединить металлы в общую систему, связанную обменным взаимодействием, посредством проводящих мостиков в принципе осуществима. Именно в этом направлении мы намерены двигаться далее. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 94-03-08880 и 97-03-33724.**

## Литература

1. Бучаченко АЛ. // Успехи химии. 1990. Т.59. С.529.
2. Kuhn O., Kador O., Larionova J. et al. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1997. V.305. P.1.
3. Левицкий М.М., Бучаченко АЛ. // Изв. РАН. Сер. хим. 1997. Т.8. С.1432–1442.

## Дорогие читатели!

Подписывайтесь на “Природу” в редакции журнала! Это обойдется вам намного дешевле. Цена льготной подписки ( в редакции ) на II полугодие 2002 г. – 55 руб. за номер или 330 руб. за полугодие. Иногородние могут выслать деньги за подписку почтовым переводом до 1 мая 2002 г., добавив стоимость пересылки шести бандеролей весом 200 г.

Наш адрес: 119991 Москва ГСП-1, Мароновский пер., 26, “Природа”, Александровой Ирине Филипповне (тел. 095-238-24-56).

Оставьте нам письмо

# От звезды к планетарной туманности

*Все существует разницей давлений,  
Температур, потенциалов, масс;  
Струи времен текут неравномерно...*

В.Г.Клочкова, В.Е.Панчук

Максимилиан Волошин. «Космос»

Человеку, далекому от астрономии, характеристики мира звезд (размеры, расстояния, массы, продолжительность эволюции) кажутся несопоставимыми с масштабами его мира. Прилагательное «астрономический» в обиходе используется, когда необходимо подчеркнуть исключительно большое значение какой-либо величины (например: астрономическая сумма долга). Действительно, основные фазы эволюции звезд длятся миллионы и даже миллиарды лет. Наше Солнце, возраст которого превышает 4 млрд лет, находится пока в самом начале своего эволюционного пути и, как большинство звезд, за период непосредственных исследований демонстрирует постоянство своих фундаментальных параметров (известны, правда, попытки оценить изменение солнечной постоянной палеометодами). Поэтому астрономические явления, характерное время которых сравнимо с продолжительностью человеческой жизни, вызывают повышенный интерес. Значительная их часть связана с быстрой сменой эволюционного состояния звезд, в первую очередь это — вспышки сверхновых звезд. Иногда «разогрев» общественного ин-



**Валентина Георгиевна Клочкова**, доктор физико-математических наук, заведующая лабораторией спектроскопии звезд Специальной астрофизической обсерватории РАН (Нижний Архыз, Карачаево-Черкесия). Ученица И.М.Копылова. Занимается изучением эволюции звезд различных популяций в Галактике, звездного нуклеосинтеза, возникновения и эволюции магнитных полей звезд.



**Владимир Евгеньевич Панчук**, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник той же обсерватории, заслуженный деятель науки России. Область научных интересов — физика звездных атмосфер, астрономическое приборостроение.

тереса к наиболее эффективной вспышке Сверхновой даже сказывался на пропорциях в научных бюджетах развитых стран. Не так известен, хотя более распространен, другой класс быстро протекающих астрономических процессов, влияющих на

превращения химических элементов во Вселенной не меньше, чем Сверхновые. Речь идет о переходе звезды в состояние планетарной туманности. Модели, предложенные теоретиками, сегодня активно проверяются экспериментально.

© В.Г.Клочкова, В.Е.Панчук



## Немного об эволюции

Для углубленного знакомства с теоретическими и наблюдательными аспектами звездной эволюции можно рекомендовать монографию А.Г.Масевич и А.В.Тутукова [1]. Здесь же кратко (и упрощенно) упомянем только общие положения наблюдений и теории, уделяя внимание эволюции звезд на стадиях, которые непосредственно предшествуют образованию планетарной туманности.

Пока звезда проходит свой жизненный цикл от «рождения» до «смерти», меняются ее строение, химический состав, набор ядерных реакций, определяющих энерговыделение, и, следовательно — светимость и температура поверхности. Общепринятый способ следить за этими процессами — регистрировать изменение интенсивности и спектрального состава излучения звездной атмосферы (астросейсмология и детектирование звездных нейтрино как методы изучения внутреннего строения звезд находятся в стадии становления). Спектр излучения, как известно, — это распределение испускаемой энергии по длинам волн. В первом приближении такое распределение можно аппроксимировать кривой излучения абсолютно черного тела (отсюда получается оценка температуры атмосферы). Упрощенно описать спектр звезды позволяет набор значений блеска, измеряемого в логарифмической шкале интенсивностей — в звездных величинах, которые характеризуют излучение, усредненное в широких (порядка 100 нм) спектральных полосах. Положения центров и ширины полос определяются комбинацией характеристик светофильтров и кривой спектральной чувствительности светоприемников. Самая распространенная фотометрическая система UBV регистрирует излучение в ультрафиолетовом (U), синем (B) и желтом (визуальном, V) диапазонах,

соответствующие величины обозначаются этими же буквами. Разности звездных величин, измеренных в полосах U, B и V, — показатели цвета — тесно связаны с температурой звездной атмосферы. Абсолютная звездная величина служит мерой полного потока испускаемой энергии, видимая звездная величина зависит еще и от расстояния до звезды. Соотношение между абсолютной звездной величиной и показателем цвета обусловлено эволюционным состоянием звезды, и его графическое представление для совокупности звезд, названное (по именам впервые построивших график астрономов) диаграммой Герцшпрунга—Ресселла (H-R), является экспериментальной основой для изучения эволюции звезд.

На диаграмме H-R наблюдаемые звезды распределены не равномерно, а группируются в определенных областях (рис.1, слева). Это означает, что звезды некоторые стадии проходят быстро, а в некоторых — задерживаются надолго. Большинство звезд сосредоточено в полосе главной последовательности (Main Sequence — MS), своей светимостью они обязаны протекающим в их ядрах процессам синтеза гелия из водорода. Жизненный путь звезды на диаграмме H-R представляется кривой, соединяющей последовательно реализуемые состояния, — эволюционным треком. Примеры треков, предсказанных теорией, даны штриховыми линиями на рис.1, справа. Начальная точка эволюционного трека для сформировавшейся звезды, находящейся в гидростатическом и тепловом равновесии, лежит в пределах полосы главной последовательности. Именно сюда приводит процесс «рождения» — сжатие протозвезды, явление, которое трудно наблюдать из-за низкой поверхностной температуры и большого поглощения света в протозвездном газопылевом коконе. В пределах MS звезда

проводит примерно 90% своей жизни. У звезд с массами, меньшими солнечной, из-за относительно низкой температуры в центре ядра выгорание водорода протекает настолько вяло, что время эволюции в пределах MS сравнимо с временем жизни галактик. В таких звездах сосредоточена подавляющая доля массы звездного населения (например, только плотность звезд с массами, на порядок меньшими массы Солнца (далее —  $M_{\odot}$ ), составляет около половины всей звездной плотности по массе в окрестностях Солнца). Итак, подавляющая доля наблюдаемого вещества Галактики, образуя маломассивные звезды, надолго (навсегда?) исключается из космического кругооборота вещества с участием ядер тяжелее гелия.

Всего несколько процентов общей массы звезд распределено между массивными звездами и звездами средних масс (от 1 до 9  $M_{\odot}$ ). Последние явно преобладают: на их долю приходится 95% массы звезд выше солнечной. Они эволюционируют быстрее и продуктивнее, чем маломассивные звезды. Из-за более высокой температуры в ядре процессы энерговыделения идут интенсивнее и часть энергии переносится наружу путем конвекции, что в свою очередь приводит к ускоренному истощению водорода. Когда водородное топливо в самом ядре израсходовано, начинается процесс сжатия ядра и горения водорода в окружающем ядро сферически симметричном слое (часть энергии продолжает уходить за счет конвекции). Радиус и светимость звезды увеличиваются, температура поверхности уменьшается, и в итоге звезда попадает на ветвь красных гигантов (Red Giant Branch — RGB). Эта эволюционная стадия короче, чем MS, но из-за того, что звезды движутся по трекам, расположенным вдоль RGB, ветвь гигантов выглядит хорошо заселенной областью диаграммы H-R.

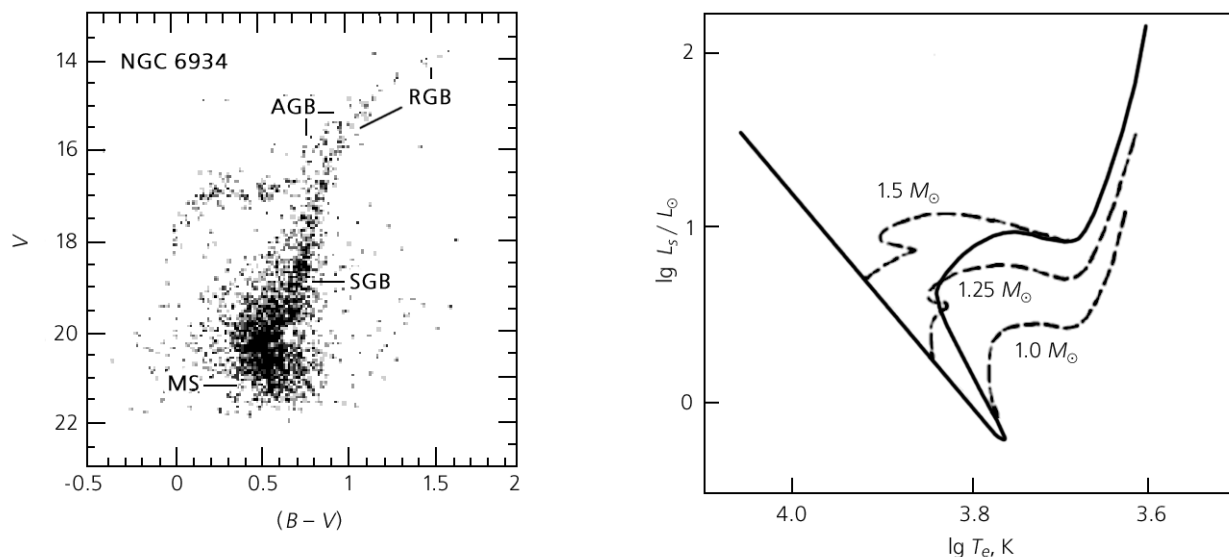


Рис. 1. Диаграммы Герцшпрунга—Ресселла.

С л е в а — диаграмма «Показатель цвета — звездная величина» для шарового скопления NGC 6934 (Brocato E., Buonanno R., Malakhova Y., Piersimoni A.M. A&A. 1996. V.311. P.778). Возраст скопления более 10 млрд лет, поэтому звезды с массами больше солнечной ушли с главной последовательности (MS) и находятся на ветвях субгигантов (SGB), красных гигантов (RGB) и асимптотической ветви гигантов (AGB).

С п р а в а — теоретическая диаграмма «Светимость — температура звездной атмосферы» для старых скоплений. Прямая линия — MS, штриховые — эволюционные треки звезд трех различных масс, сплошная кривая — изохрона (положение звезд различных масс для возраста скопления 2 млрд лет).

На вершине RGB плотность и центральная температура сжимающегося звездного ядра повышаются настолько, что включаются реакции синтеза углерода и кислорода из ядер гелия (гелиевая вспышка), квазиравновесное состояние звезды нарушается, она быстро теряет значительную часть протяженной конвективной оболочки, светимость падает, т.е. звезда уходит с ветви гигантов. После полного выгорания гелия в ядре энергосвечение звезды определяется горением гелия в слое, окружающем плотное углеродно-кислородное ядро, и горением водорода в слое, разделяющем бедную и богатую водородом части оболочки. Толщина слоевых источников энергии мала (их масса составляет  $0.0001-0.000001 M_{\odot}$ , при полной массе звезды  $0.8-9 M_{\odot}$ ), поэтому моделирование эволюции звезды на этих стадиях длительное время представляло вычислительную проблему. В рамках модели не удастся подобрать та-

кое значение скорости поступления водорода и гелия в слоевые источники, чтобы обеспечить устойчивое горение в обоих источниках одновременно (горение гелия начинается при температуре, на порядок более высокой, чем горение водорода). Следовательно, вспышки горения водорода и гелия происходят попеременно. Число таких вспышек зависит от запасов водорода и снижается до нескольких десятков из-за быстрого истощения водородной оболочки. Звезда в этом неустойчивом состоянии находится на асимптотической ветви гигантов (Asymptotic Giant Branch — AGB), положение которой на диаграмме H-R стремится к ветви гигантов (рис.1).

Судьба углеродно-кислородного ядра зависит от его массы (т.е. центральной температуры и плотности). При температуре 1 млрд градусов загораются углерод и кислород, образуются магний, сера, натрий; при температуре 2 млрд градусов в ядре

звезды развивается цепь реакций скалывания  $\alpha$ -частиц с ядер кремния, серы, магния, с последующим присоединением  $\alpha$ -частиц к более тяжелым ядрам, при этом синтезируются элементы вплоть до железного пика. В ядрах с массой более  $4 M_{\odot}$  такой процесс приобретает взрывной характер и считается одним из вероятных механизмов вспышки сверхновой звезды. Описание процессов взрывного нуклеосинтеза как одной из заключительных стадий эволюции массивных звезд выходит за рамки данной статьи. Здесь только отметим, что эволюция таких объектов обеспечивает Вселенную значительным количеством тяжелых элементов, в том числе и радиоактивных.

Углеродно-кислородное ядро, образующееся у звезды с массой менее  $8-9 M_{\odot}$ , не способно к синтезу тяжелых элементов. При увеличении его массы за счет горения гелия происходит сжатие (до разме-

ров, сравнимых с размерами Земли) и нагрев ядра. Ядро окружено оболочкой с радиусом, который в тысячу раз превосходит радиус Солнца (ситуация, напоминающая соотношение размеров атома и его ядра). Масса водородной оболочки уменьшается за счет горения водорода в слоевом источнике и за счет потери вещества в виде звездного ветра. В целом окончательную массу ядра, структуру звезды и характер эволюции определяет не только масса звезды в момент ее прихода на главную последовательность, но и темп потери массы на разных стадиях (в основном RGB и AGB).

Итак, на стадии AGB внутри красного сверхгиганта начинается жизнь белый карлик — звезда, энергетика которой уже не связана с нуклеосинтезом, а строение уже не описывается, в частности, уравнением идеального газа. Между состояниями AGB и белого карлика звезде необходимо быстро потерять значительную часть оставшейся массы (так как массы белых карликов не должны превосходить 1.4 солнечной). Кроме эпизодических сбросов вещества, сопровождающих переключение слоевых источников, звезда на стадии ухода с AGB теряет вещество из-за интенсивного звездного ветра, и в итоге образуется околозвездная пылевая оболочка, которая существенно ослабляет блеск звезды в оптическом диапазоне. Звезда снова, как и в период своего рождения вблизи MS, прячется в пылевом коконе. Продолжительность сосуществования звезд и околозвездных оболочек, образованных относительно плотным утерянным веществом, составляет всего от десятков до тысячи лет, поэтому вероятность случайного обнаружения подобных объектов низка. Из-за сильного пылевого ослабления в оптическом диапазоне они труднодоступны для спектроскопических наблюдений на телескопах умеренных размеров. Поэтому перед нами стоят две задачи: най-

ти объекты, находящиеся на указанной стадии развития, и организовать детальные исследования на крупных телескопах.

### Вглядываясь в туманности

С уменьшением массы водородной оболочки звездный ветер прекращается, а поверхностная температура возрастает, и звезда перемещается в левую часть диаграммы H-R. Эта стадия завершается при эффективной температуре около 30 000 К, достаточной для полной ионизации газа околозвездной туманности. Теперь объект легко наблюдать: в спектре появляются интенсивные рекомбинационные линии водорода и запрещенные линии металлов (таким образом мы обнаруживаем только долю вещества туманности, составляющую в среднем 20%  $M_{\odot}$ ). Рекомбинационные линии возникают из-за того, что горячая центральная звезда поставляет сильное ультрафиолетовое излучение, ионизирующее водород. Регистрация запрещенных линий не означает, что во Вселенной нарушаются законы квантовой механики. Запреты на определенные переходы между энергетическими состояниями не абсолютны, они говорят лишь об очень малой вероятности таких событий. В земных условиях подобные переходы не успевают реализоваться — атом быстрее «сбросит» избыток энергии в столкновениях. Зато в условиях космических, при гораздо более низких плотностях вещества, они произойти могут.

Системы, состоящие из горячего ядра и окружающей его светящейся газовой оболочки, получили название планетарных туманностей (в отличие от точечных источников — звезд — туманности не мерцают при визуальных наблюдениях в небольшой телескоп, а, как и другие объекты с заметными угло-

выми размерами — планеты — светили ровно). Планетарные туманности были выделены из числа других туманных объектов В.Гершелем в 1785 г.; сегодня известно свыше 10 тыс. планетарных туманностей, в том числе и в ближайших галактиках.

Основополагающие представления о природе планетарных туманностей как заключительной стадии эволюции звезд с промежуточными массами (примерно от 3 до 8  $M_{\odot}$ ) были сформулированы И.С.Шкловским [2]. Именно тогда, до формирования ядерной астрофизики в виде отдельного направления, были сделаны выводы о связи между красными гигантами (сверхгигантами), планетарными туманностями и белыми карликами; о дискретном характере образования расширяющейся оболочки вследствие отделения внешних слоев красного гиганта; об эволюции звездного ядра, приводящей к образованию белого карлика. Десятилетия, прошедшие после пионерской работы И.С.Шкловского, оказались чрезвычайно плодотворными для исследования процессов превращения звезд в планетарные туманности, и прежде всего благодаря тому, что астрофизика стала «всеволновой» [3]. В частности, были развиты эффективные (наземные и внеатмосферные) методы наблюдений в оптическом, инфракрасном, субмиллиметровом и радиодиапазонах. Степень нашей информированности о строении планетарных туманностей демонстрирует изображение известной туманности Кошачий Глаз (NGC 6543), полученное на Космическом телескопе им.Э.Хаббла (Hubble Space Telescope — HST), рис.2. Ее структура включает несколько деталей разного типа (оболочки, облака, кольца, струи). Спектры отдельных деталей, зарегистрированные нами на шестиметровом телескопе БТА (Большой Телескоп Альтазимутальный), говорят о сложной картине потери вещества центральной звездой.

При анализе наблюдений, выполненных на инфракрасном астрономическом спутнике (InfraRed Astronomical Satellite — IRAS), была обнаружена группа объектов, чьи потоки в инфракрасном диапазоне сравнимы и даже превышают потоки в оптическом, а распределение энергии в спектрах имеет специфический «двугорбый» вид. Температура околозвездных газопылевых оболочек составляет от 200 до 1000 К. К настоящему времени уже хорошо развита теория их эволюции, позволяющая учитывать даже изменение химического состава. Если, следуя технике работы в фотометрической системе UBV, по наблюдениям в фильтрах инфракрасного диапазона определить соответствующие показатели цвета, то удастся надежно разделить группы оболочек, находящихся на разных эволюционных стадиях. Характер распределения энергии в ИК-диапазоне зависит от размеров, температуры, типа частиц и закона их распределения по размерам, т.е. от стадии развития оболочки. Уже построены ИК-диаграммы, которые для пылевых оболочек играют такую же эволюционную роль, что и построенные для звезд диаграммы показателей цвета в широкополосной фотометрической системе UBV. Процессы формирования и развития околозвездной газопылевой оболочки протекают на короткой (по астрономическим меркам) временной шкале, и точность определения возрастов околозвездных оболочек (до 25 лет!) непривычна даже для профессиональных астрономов. Часть объектов, которые окружены газопылевыми оболочками, отождествлена со сверхгигантами спектральных классов F и G, находящимися предположительно на кратковременной стадии перехода от красного гиганта к планетарной туманности. Общепринятое название этой стадии эволюции — протопланетарные туманности,

или звезды на стадии после асимптотической ветви гигантов (Post-Asymptotic Giant Branch — PAGB).

## Протопланетарные туманности

Весьма кратковременный (порядка тысячи лет) переход от холодной звезды высокой светимости, интенсивно теряющей вещество, в качественно иное образование — планетарную туманность, подсвечиваемую горячим ядром, — только начинает изучаться как теоретиками, так и наблюдателями. Почти не исследованы причины дискретного, повторяющегося и зачастую несимметричного сброса вещества звездной оболочки на стадиях AGB и PAGB. Следы такого сброса обнаружены недавно в виде слабосветящихся структур вокруг хорошо известных газовых оболочек. Определенную проблему представляет экспериментальное различение протопланетарных туманностей и движущихся к главной последовательности самых молодых звезд, также упакованных в газопылевые коконы. Часть вещества в нашем случае сохраняет некоторые свойства предшествующей стадии; например, удается наблюдать оболочки, потерянные звездой еще на стадии асимптотической ветви гигантов. Сначала объект наблюдается только в инфракрасном и радиодиапазонах и зачастую не отождествляется в оптическом диапазоне. По мере разлета пылевой оболочки ее прозрачность увеличивается и доля инфракрасного излучения в общем потоке понижается. Оболочки большей части протопланетарных туманностей имеют асимметричную структуру, что указывает на анизотропность потери вещества и (или) вероятное присутствие второй звезды. Из-за асимметрии структур видимая картина зависит от ориентации туманности по отношению к наблюдателю.

Все эти признаки (скорость эволюции на данной стадии, неоднородность поглощения, асимметрия процесса потери вещества, различная проекция на луч зрения) определяют разнообразие форм объектов, наблюдаемых в инфракрасном и оптическом диапазонах. Например, сложнейшая структура обнаружена у молодой туманности AFGL2688. Неоднородное, асимметричное изображение этой туманности (рис.3), полученное на HST в ИК-диапазоне (в том числе и с помощью узкополосных фильтров, центрированных на линии молекулярного водорода), показывает иерархию элементов (диск, облака, дуги, струи). Эта картина помогает расшифровать оптические спектры, зарегистрированные нами на шестиметровом телескопе. В оптическом диапазоне объект выглядит как биполярная структура, северный и южный лепестки которой имеют видимую звездную величину 13 и 16 соответственно, при характерных размерах 4–5" каждый. Центральная звезда полностью закрыта кольцеобразным пылевым образованием, но при спектроскопических наблюдениях лепестков по излучению, рассеянному на пылинках, нам удалось «заглянуть за угол», т.е. определить светимость, температуру центральной звезды и ее химический состав. Объект долго не мог заинтересовать астрономов и вначале был даже занесен в каталоги как двойная галактика, а затем, после первого систематического обзора неба в ИК-лучах был отождествлен с одним из ярчайших ИК-источников. Светимость AFGL2688 такова, что при несколько ином наклоне пылевого кольца, т.е. при отсутствии околозвездного пылевого поглощения на луче зрения, мы наблюдали бы в созвездии Лебедя еще одну яркую звезду не слабее 4-й величины, и это была бы, пожалуй, самая яркая звезда из находящихся в кратковременной стадии PAGB. Из-за быстрого измене-





Рис.2. Изображение туманности Кошачий Глаз (NGC 6543), полученное широкоугольной камерой Космического телескопа им.Хаббла.

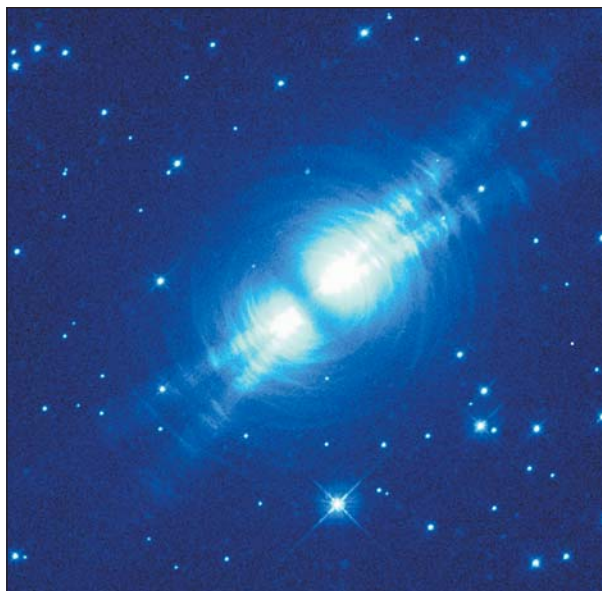


Рис.3. Комбинированное оптическое и инфракрасное изображение туманности AFGL2688, полученное на Космическом телескопе им.Хаббла.

ния блеска такая звезда обязательно привлекла бы внимание средневековых астрономов.

В наши дни детальный анализ изображений, полученных на HST, и спектров, полученных на БТА, дает картину, разворачивающуюся в прошлое на сотни лет.

### О чем говорят оптические спектры

Если звезда на стадии PAGB наблюдается только в оптическом диапазоне, ее спектр не сразу можно отличить от спектра обычного массивного сверхгиганта. Чаще всего это звезда спектрального класса F—G, но встречаются объекты и более ранних спектральных классов, с эффективной температурой менее 30000 K, при которой уже «включается» феномен планетарной туманности. При наблюдениях со средним спектральным разрешением (когда большинство слабых и узких спектральных линий сливаются друг с другом и неразличимы) выяв-

ляются две характерные особенности — сложный профиль линии нейтрального водорода  $H_\alpha$  и полосы молекул  $C_2$  и  $C_3$ . Сложный, содержащий как эмиссионные, так и абсорбционные компоненты, профиль  $H_\alpha$  — надежный признак процессов истечения вещества и/или ударных волн, образующихся при пульсациях оболочки звезды. Полосы молекул углерода служат основой спектральной классификации холодных углеродных звезд, атмосферы которых имеют температуру 3000—2000 K и характеризуются численным преобладанием атомов углерода над атомами кислорода. Наличие подобных полос в спектрах звезд с температурой 7000—5000 K не находит объяснения в рамках классических моделей атмосфер. Детальные исследования с высоким спектральным разрешением (когда отдельно различимы узкие и слабые линии) свидетельствуют: молекулярные спектры формируются преимущественно в околозвездных оболочках, оценки температуры которых,

выполненные по вращательным спектрам молекул разного сорта, не совпадают. Последнее говорит в пользу неравновесных процессов, определяющих состояние вещества и поля излучения в оболочках. Относительные смещения линий, формирующихся в атмосфере звезды и ее оболочке, несут информацию о скорости расширения оболочки (10—20 км/с) и ее возрасте (в среднем 200—300 лет).

В спектрах некоторых объектов на стадии PAGB мы обнаружили эмиссионные полосы молекул углерода, характерные для спектров газопылевых голов, которые окружают ядра комет Солнечной системы (рис.4). Измерения лучевых скоростей (скоростей изменения расстояния между объектом и наблюдателем) и относительных интенсивностей различных колебательных переходов показали, что эти эмиссионные полосы формируются в протяженных околозвездных оболочках, причем по тому же механизму, что и в головах комет. Анализ излучения, рассеянного на пылинках околозвезд-

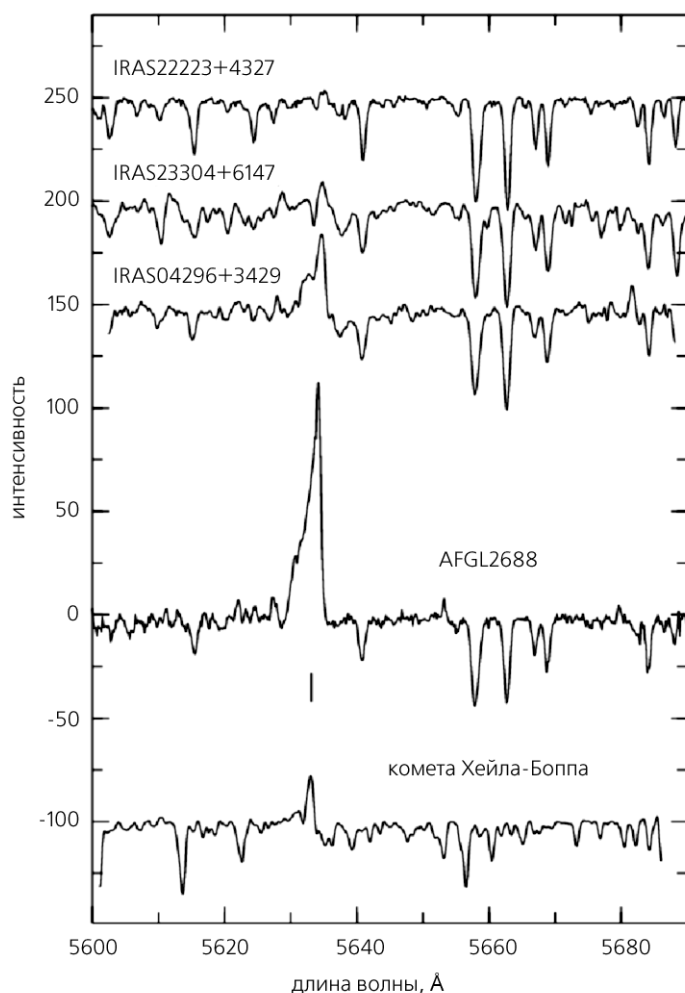


Рис.4. Эмиссионные полосы молекулы углерода  $C_2$  ( $5635 \text{ \AA}$ ) в полученных на шестиметровом телескопе оптических спектрах избранных протопланетарных туманностей и головы кометы Хейла—Боппа.

ной оболочки, помогает исследовать внутренние части околозвездного пылевого тора, которое скрывает от наблюдателя центральную звезду. С этой целью мы используем спектрополяриметрические методы, которые, например, позволяют разделить излучение, выходящее из атмосферы звезды и внутренней зоны околозвездной оболочки (поляризованное вследствие рассеяния на пылевых частицах), и излучение, образующееся непосредственно в газовой компоненте газопылевой оболочки и покидающее оболочку без существенного рассеяния.

Упомянем еще об одной, ранее неизвестной особенности спектров протопланетарных туманностей — в спектрах нескольких объектов мы обнаружили детали, отождествляемые с положениями диффузных межзвездных полос (рис.5). Эти полосы, более полувека наблюдаемые в спектрах межзвездной среды «на просвет» (т.е. когда исследуется холодное облако или диффузная среда, которые находятся между наблюдателем и горячей звездой, излучающей преимущественно в непрерывном спектре), пока окончательно не приписаны ни одному из

вероятных носителей (молекуле, молекулярному иону, молекулярному комплексу или сочетанию какой-либо из этих частиц с твердой поверхностью льдов или пылинок). В качестве наиболее вероятных кандидатов называют молекулярные комплексы полициклических ароматических углеводородов — группы веществ, которые в земных условиях подозреваются в канцерогенном действии. Положение этих деталей в спектрах и его связь с величиной околозвездного покраснения (искажением спектра излучения из-за более усиленного поглощения пылью более коротковолновой его части) заставляют думать об околозвездном происхождении диффузных полос. В спектрах звезд на асимптотической ветви гигантов такие полосы не встречаются, так что можно сделать вывод о начале синтеза сложных (гигантских) органических молекул на этапе формирования околозвездных оболочек в стадии PAGB. Не менее важна данная стадия и для предыдущего шага в усложнении организации вещества во Вселенной — для образования химических элементов.

## Поставщики тяжелых элементов

Процессы формирования химических элементов изучает ядерная астрофизика, одна из главных задач которой — объяснить те пропорции, в которых различные элементы встречаются в космосе. Наибольшую распространенность (относительное среднее содержание) имеет водород, несколько меньшую — гелий; с дальнейшим ростом атомной массы распространенность в среднем спадает, но не монотонно — для некоторых элементов характерны пики (например, для железа).

В основу современных теорий образования химических элементов положен тот факт, что молодая Вселенная (до на-

чала образования звезд) состояла из водорода и гелия, с небольшим добавлением изотопов лития, бериллия и бора. Вторым фундаментальным обстоятельством является вид зависимости энергии связи нуклонов от массы ядра (максимум имеет место для изотопа  ${}^{56}\text{Fe}$ , вокруг которого образуется так называемый железный пик). Весьма упрощенно это означает, что ядра, расположенные слева от железного пика, создаются преимущественно в реакциях синтеза (присоединение протонов,  $\alpha$ -частиц и легких ядер), но по мере увеличения масс таких ядер для их синтеза необходимы все более высокие энергии сталкивающихся частиц, т.е. все более высокие плотности и температуры в недрах звезд. Отсюда следует, что у звезд большей массы больше возможностей синтезировать ядра элементов в серии последовательно сменяющихся друг друга процессов (синтез ядер гелия из протонов, синтез ядер углерода и кислорода из  $\alpha$ -частиц, синтез магния, кремния, серы и т.д.). Смена групп реакций нуклеосинтеза или прекращается (для включения следующей группы реакций условия не реализуются), или развивается с катастрофическими последствиями для звезды. Разрушение звезды приводит к поставке свежесинтезированного вещества в межзвездную среду, и следующее поколение звезд формируется из сырья, уже частично обогащенного тяжелыми элементами в звездах предыдущего поколения. Как уже упоминалось, за синтез химических элементов отвечает небольшая (менее процента) доля звезд в Галактике.

Уже несколько десятилетий астрофизики умеют определять химический состав звездных атмосфер и планетарных туманностей по их спектрам. Для этого пришлось построить теории образования спектров, работающие в больших диапазонах температур (от 1000 до 100 000 К) и плотностей (от

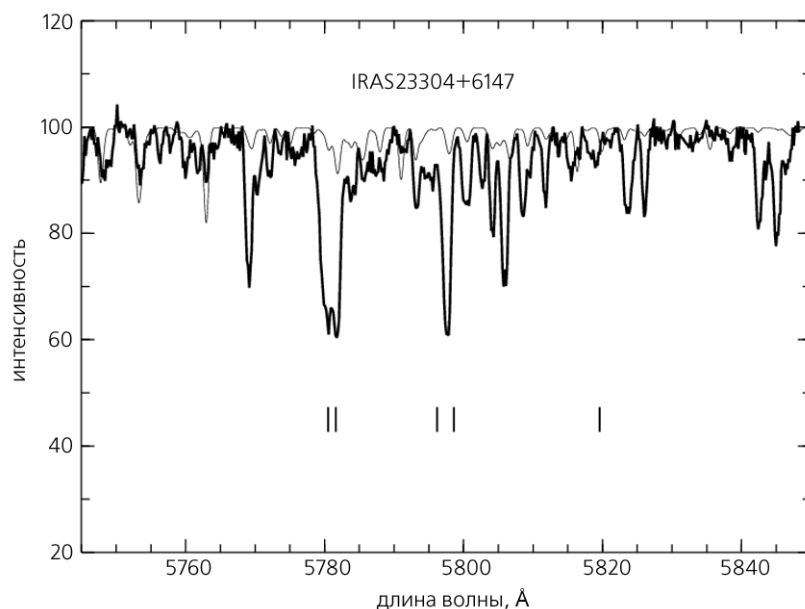


Рис.5. Околозвездные полосы (отмечены вертикальными линиями), выявленные путем сравнения наблюдаемого на шестиметровом телескопе и теоретического (тонкая линия) фрагментов спектра ИК-источника IRAS 23304+6147.

плотности, сравнимой с плотностью воздуха, до десяти атомов в  $\text{см}^3$ ). Однако в силу различия как свойств объектов, так и методов их анализа, сведения о химическом составе звезд и планетарных туманностей слабо перекрываются по исследованным химическим элементам. Существует еще одна трудность: наблюдая звезду, мы видим ее атмосферу, соотношение химических элементов в которой в большинстве случаев отражает состав вещества, из которого звезда сформировалась. Наблюдая туманность, мы видим результат потери оболочки, но физические условия в туманности не позволяют обнаружить линии ионов тяжелых элементов (в том числе и вновь синтезированных), и атмосфера центральной звезды-остатка слишком горячая, чтобы были видны линии легкоионизуемых элементов. Недостает информации о промежуточной кратковременной эволюционной стадии, поэтому за каждым объектом —

кандидатом в протопланетарную туманность — в 90-е годы спектроскописты вели своеобразную охоту. Усилия увенчались успехом: к настоящему времени для десятков объектов получены спектры, анализ которых позволяет проверить некоторые предсказания теории эволюции звезд промежуточных масс. Что же предсказывает теория?

На заре становления ядерной астрофизики М. и Дж.Бэрбиджи, У.Фаулер и Ф.Хойл [4] показали, что основная доля тяжелых элементов рождается в двух процессах, которые различаются уровнем нейтронного потока. Если поток нейтронов, облучающих ядра элементов железного пика, велик, большинство образовавшихся неустойчивых ядер не успевают испытать  $\beta$ -распад (увеличить заряд ядра) между последовательными актами нейтронного захвата. Эта ситуация ( $r$ -процесс, от слова «rapid») реализуется при взрыве Сверхновой, характерное время процес-

са (менее 1 с) оценивается из положения пиков распространности изотопов тяжелых элементов на шкале атомных масс. Если поток нейтронов мал (s-процесс, от слова «slow»), то между соседними актами нейтронного захвата те ядра, что имеют период полураспада до 100 лет, успевают образоваться и увеличить свой заряд, и положение пиков на кривой распространности получается иное, чем для r-процесса. Вид кривой распространности (зависимости числа ядер от их массового числа) установлен усилиями геохимиков (по составу земных пород и метеоритов), астрофизиков (по спектрам звезд), физиков (по составу космических лучей, с помощью расчетов цепочек ядерных реакций и изучения продуктов ядерных взрывов). В частности, получен вывод, что вещество Солнечной системы побывало в различных условиях, где доминировали как s-, так и r-процессы. Тем не менее при изучении химического состава разных звезд химический состав атмосферы Солнца и содержание элементов в метеоритах принимаются в качестве репера.

М.Шварцшильд и Р.Хярм [5] установили, что на продвинутых эволюционных стадиях в недрах звезд промежуточных масс возникает механизм попеременно-го включения слоевых источников горения водорода и гелия, а Р.Сандерс [6] показал, что этот механизм обеспечивает условия для эффективного синтеза тяжелых ядер в s-процессе, с последующим выносом продуктов нуклеосинтеза в звездные атмосферы. Теория связывает возможность такого выноса с исходной массой звезды, темпом потери массы, массой проэволюционировавшего ядра, содержанием ядер-мишеней элементов железного пика. У звезд, имеющих исходные массы до 8–9 солнечных и достаточно массивные ядра ( $0.96 M_{\odot}$ ), около трети переработанного вещества может быть вынесено на поверхность. При быстром переходе к стадии

белого карлика (с массой не более 1.4 солнечной) красные сверхгиганты теряют вещество оболочки, поставляя в межзвездную среду элементы, которые были синтезированы в процессах термоядерного горения и в реакциях нейтронизации. По-видимому, эти звезды служат единственными поставщиками всех наблюдаемых во Вселенной ядер тяжелых элементов, образовавшихся в реакциях захвата нейтронов при низкой плотности нейтронного потока.

На шестиметровом телескопе выполняется программа исследования химического состава атмосфер звезд — кандидатов в протопланетарные туманности. В наблюдениях используются сконструированные и изготовленные в нашей лаборатории спектрографы, которые позволяют регистрировать спектры слабых объектов в широком диапазоне длин волн. В результате исследований более 30 звезд, отождествляемых с инфракрасными источниками, у шести малометаллических сверхгигантов надежно обнаружен избыток (по сравнению с кривой распространности химических элементов в атмосфере Солнца) тяжелых металлов, синтезированных в процессах нейтронизации (Y, Zr, Ba, La, Nd). Выявлены значительные (более чем в 10 раз) избытки содержания элементов CNO-группы, но у некоторых звезд они не сопровождаются избытками содержания тяжелых элементов. Параллельно выполняются наблюдения на четырехметровом Телескопе им.В.Гершеля, где группа западноевропейских астрономов обнаружила проявления выноса продуктов реакций нейтронизации еще у четырех кандидатов в протопланетарные туманности. В целом выяснилось, что избыток элементов, синтезируемых в реакциях нейтронизации, наблюдается крайне редко. Как правило, в атмосферах кандидатов в протопланетарные туманности наблюдается сверхдефицит тяжелых ядер (относительно

кривой распространности элементов, нормированной на данное содержание элементов железного пика), что для атмосфер маломассивных сверхгигантов на стадии PAGB не находит пока однозначного объяснения. В спектрах тех кандидатов в протопланетарные туманности, температура которых высока, обнаружены линии гелия. Оказалось, что в большинстве случаев содержание гелия близко к солнечному, пока только у двух звезд наблюдается избыток гелия. Картина весьма загадочная, так как на столь продвинутой стадии эволюции ожидается потеря водородной оболочки (за счет выгорания водорода и потери вещества в виде звездного ветра), т.е. замещение существенной доли водорода в атмосфере звезды атомами гелия.

## От выводов — к новым вопросам

Итак, предсказания теории образования тяжелых ядер в реакциях медленной нейтронизации через 40 лет подтверждены при наблюдениях звезд, превращающихся в планетарные туманности. Однако момент, в который удастся «подсмотреть» процессы нуклеосинтеза, весьма кратковременный, и это затрудняет учет эффектов наблюдательной селекции. Очень важно, что на стадии PAGB можно одновременно исследовать звезду и мощную околозвездную оболочку. Анализ уже имеющихся данных для кандидатов в протопланетарные туманности выявил корреляцию избытка тяжелых элементов в их атмосферах с присутствием в инфракрасном спектре их оболочек эмиссионной детали на длине волны 21 мкм. Эта деталь, отождествить которую пока не удается, отсутствует у звезд на предшествующей стадии (AGB). Все холодные объекты на стадии PAGB, в оптических спектрах которых мы обнаружили околозвездные диффузные абсорбционные полосы,



в ИК-спектрах имеют эмиссионную деталь 21 мкм. Подчеркнем также, что в оптических спектрах всех известных объектов, имеющих деталь на 21 мкм, наблюдаются и абсорбционные полосы молекул углерода. И так, по наблюдениям в оптическом и инфракрасном диапазонах обнаружены связи между свойствами околозвездных оболочек и химическим составом атмосфер, измененным в результате глубокого перемешивания и потери звездного вещества. Какими процессами обусловлены выявленные взаимосвязи, пока не-

ясно, здесь слово теоретикам. Плодотворными оказались первые попытки измерения степени поляризации излучения для различных деталей оптического спектра (наблюдения такого рода с высоким спектральным разрешением выполнены впервые). Спектрополяриметрические данные помогают построить модель несимметричной газопылевой оболочки, рассеивающей излучение центральной звезды. Увеличение числа объектов, для которых получены высококачественные спектры, в сочетании с изображениями, получен-

ными с высоким угловым разрешением на HST, позволяет связать вид спектра с морфологией объекта и его геометрической ориентацией. Перспективным оказался многолетний спектроскопический мониторинг избранных объектов — уже зарегистрировано несколько случаев эволюционных изменений. Но об этом необходимо писать в отдельной статье. ■

**Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований. Проект 99-02-18339.**

## Литература

1. Масевич А.Г., Тутуков А.В. Эволюция звезд: теория и наблюдения. М., 1988.
2. Шкловский И.С. // Астрон. журн. 1956. Т.33. С.315—329.
3. Шкловский И.С. Проблемы современной астрофизики. М., 1982.
4. Burbidge E.M., Burbidge G.R., Fowler W.A., Hoyle F. // Rev. Mod. Phys. 1957. V.29. P.547—650.
5. Schwarzschild M., Harm R. // Astrophys. J. 1967. V.150. P.961—970.
6. Sanders R.H. // Astrophys. J. 1967. V.150. P.971—977.

### «Персидская принцесса» — фальшивка

В конце 2000 г. в пакистанской провинции Белуджистан на торги был выставлен покрытый изящной резьбой саркофаг<sup>1</sup>, клинописная надпись на крышке которого гласила, что в нем покоится дочь персидского царя Ксеркса I (правившего примерно в 486—465 гг. до н.э.). Присутствовавший на аукционе высокопоставленный полицейский чиновник (очевидно, весьма образованный) счел реликвию сомнительной и прервал торги. Подозрения усилились после вскрытия гроба: слишком уж хорошо сохранилась «царевна», якобы пролежавшая в могиле почти 2,5 тыс. лет. Полиция предположила, что за всем этим стоит банальное убийство, причем сравнительно недавнее.

Радиоуглеродное датирование образцов кожи, костной и мышечной тканей, а также об-

резков покрывавшей тело матери, проведенное группой немецких экспертов, показало, что мумия — фальшивка. Не в пользу царственного происхождения покойной говорили и обнаружившиеся следы насильственного перелома позвоночника. Выяснилось также, что мумия не полностью обезвожена, а это вряд ли возможно после столь длительного захоронения (обычно мумию трудно избавить от тряпичных оболочек, но тут пришлось даже воспользоваться электродрелью). К тому же обнаружилось, что клинопись на крышке гроба частично скопирована (причем с серьезными ошибками!) с известной Бехистунской надписи, прославляющей деяния отца Ксеркса I — иранского царя Дария I (репродукцию этой надписи можно найти в любом учебнике по истории Древнего мира).

Компьютерная томография мумии показала, что во рту и желудке «принцессы» находится какой-то порошок — те-

перь его исследуют немецкие химики. Выяснилось также, что женщина погибла в возрасте около 50 лет, при жизни страдала остеопорозом, а умерла лишь несколько лет назад. Уточнить эту дату можно будет после анализа обломков гроба, обрывков материи и подстилки, на которой лежал труп. Эти образцы уже исследовались с помощью масс-спектрометра и ускорителя частиц, позволяющих обнаружить минимальные количества химических элементов. Первые же анализы показали, что изучаемым предметам не более 40 лет: об этом свидетельствуют следы радиоактивных изотопов от испытаний ядерного оружия, проведенных в разных странах в 1958—1994 гг. По завершении исследований дата убийства будет определена с точностью до 2—3 лет. Дальнейшее — дело полиции... Неясным остается одно: пойдет ли этот урок впрок любителям сенсаций?

Science. 2001. V.292. №5526. P.2417 (США).

Вампицеском

<sup>1</sup> Загадочная мумия // Природа. 2001. №8. С.64.

# Дорогами Монголии

И.М.Микляева,

кандидат географических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Ежегодно в Монголию приезжают российские специалисты, работающие в составе Российско-Монгольской комплексной экспедиции (в 2000 г. она отметила свой 30-летний юбилей). Круг ее научных интересов чрезвычайно широк, правда, по сравнению с 70—80-ми годами по разным (и прежде всего, видимо, экономическим) причинам произошел сдвиг от наук геологических и археологических в сторону наук биолого-географических. Руководит экспедицией биолог-ландшафтовед П.Д.Гунин. Тема исследований нашего отряда 2001 г. — динамика ландшафтов под влиянием деятельности человека. Нам предстоит изучать изменения растительности, почв, животного мира, возникшие из-за выпаса скота. Занимаемся мы такими работами не первый год — автор этих строк впервые побывала здесь в 1994 г.

В Монголии сохранилось немало природных объектов в первозданном виде, поэтому в последние годы сюда устремляются не только специалисты, но и туристы — преимущественно из Западной Европы. Эта огромная древняя страна с великой историей, переплетающейся с историей нашей страны, занимает в северо-восточной час-

ти Центральной Азии площадь в 1566 тыс. км<sup>2</sup>. На ней смогли бы уместиться почти три Франции, а население небольшое — всего 2 млн человек, при этом треть его сосредоточена в столице — Улан-Баторе. Низкая заселенность страны в первую очередь объясняется ее природными особенностями. Большая

часть Монголии лежит на высоте 1000—2000 м над ур.м. Ее западную и юго-западную территории занимают горы — Монгольский Алтай, Гобийский Алтай, Хангай; восточную и юго-восточную — равнины Гоби. Сюда и отправился наш отряд.

Климат в Монголии сухой, резко континентальный. Годо-





вая амплитуда температур может составлять  $90^{\circ}$ , при максимальной летней  $+40^{\circ}$  и минимальной зимней  $-50^{\circ}$ . Перепады температур ( $20-25^{\circ}$ ) наблюдаются в течение суток, да и в течение дня можно почувствовать на себе быструю смену погоды. Осадков выпадает очень мало —  $100-200$  мм в год, в горах их больше — до  $500$  мм. Зимой над этой территорией стоит Азиатский антициклон, летом — область низкого давления, в этот период выпадает большая часть осадков. Два-три года из пяти бывают засушливыми, а один раз в  $10-12$  лет выпадает всего 25% осадков от нормы.

Засуха приводит к гибели диких и домашних животных, которые и в благоприятные годы испытывают недостаток корма весной — практически бесснежная, холодная зима и сухая весна замедляют темпы развития растений. Вегетационный период длится всего  $100-130$  дней.

Природа во многом сохранилась в Монголии благодаря низкой плотности населения, составляющей, например, в восточной части  $0.2-0.7$  чел./км<sup>2</sup>, невысокому —  $3.45$  млн голов — поголовью скота (76% приходится на мелкий рогатый,  $12-14\%$  — на крупный рогатый и  $10-12\%$  — на лошадей и верблюдов) и кочевому типу скотоводства. Сельскохозяйственная бригада — степное кочевье (сурь) — включает  $5-25$  человек ( $2-4$  юрты), расстояние между отгонными пастбищами около  $100$  км [1]. Все это обеспечивает несильную и довольно равномерную нагрузку на пастбища. Кроме того, в Монголии истари бережно хранят уникальные объекты природы (у нас их принято называть памятниками). Приходилось встречать старое дерево, причудливой формы камень, увешанные полосками голубой шелковой ткани, своеобразными оберегами.

Поврежденный колотом (на врезке) ствол кедровой сосны.

Фото автора



Монастырь Гандан в Улан-Баторе.

Фото А.В.Прищепы







Стоянка. Из-за сильных ветров ставим палатки рядом с кустарником.

Однако не все так радужно в деле охраны природы. Печальный пример — заповедник «Богда-Ул», с севера примыкающий к Улан-Батору. На нагорье, считающемся священным, раскинулась тайга из кедровой сосны. Неохраняемый заповедник осенью наполняется шумными горожанами, собирающими шишки варварским способом. Бревном (колотом), укреплен-

ным на подставках из жердей, бьют по стволу, сильно повреждая кору. Возвращаются из заповедника (!) с огромными, иногда больше собственного роста, мешками. У подножия добытчиков ждут перекупщики... В городе орехи продают на каждом углу, улицы и общественный транспорт усыпаны ореховой скорлупой, которую не успевают подметать.

В начале пути мы останавливаемся возле обо.

Здесь и далее фото А.В.Прищепы

В целом Улан-Батор, откуда начнется путь нашего отряда, с каждым годом становится все больше похожим на европейский город, особенно в районах современной застройки, хотя здесь и пытаются придать зданиям национальный колорит — это орнаменты на фасадах, элементы архитектуры с деталями, напоминающими юрту или ламаистскую пагоду. Как и в Москве, восстанавливаются и возводятся культовые здания — храмы, монастыри. Можно увидеть древние дворцы и суперсовременные здания, роскошные кирпичные замки новых монголов. Окраины города заняты юртами и напоминают Улан-Батор со старинных гравюр.

В городе царит обычная суета. Улицы пестрят рекламой, яркими вывесками. Одежда у большинства европейская, но пожилые люди предпочитают национальную — дели. Она напоминает халат, запахивающийся



и у мужчин и у женщин на левую сторону, украшенный серебряной тесьмой и пуговицами (по фурнитуре легко отличить мужскую вещь от женской). Яркий широкий пояс, кроме обычного назначения, служит кошельком и сумкой для переноса мелких вещей, более крупные — укладываются за пазуху. Мелькают оранжевые одежды буддийских монахов.

## Отправляемся в путь

В Улан-Баторе располагается база нашей экспедиции. Сюда мы приезжаем из разных городов России, иногда в работах участвуют и ученые из Японии, Израиля, США. Здесь отряды получают оборудование, закупают продовольствие, водители проверяют и отлаживают машины.

От ворот базы мы ведем отсчет пройденным километрам. По местным обычаям, чтобы не спугнуть удачу, трогаться в путь можно в любой день, кроме вторника. В начале пути важно остановиться возле обо — сложенной из камней пирамиды, чтобы задобрить духов. Подношение может быть самым примитивным — камень или пустая бутылка, желательно также молча обойти не менее трех раз вокруг обо, но если очень торопиться, можно просто нажать на клаксон и погудеть духам в знак вежливости. Обо обычно ставят на самых трудных участках дороги, и усталый водитель получает небольшой отдых.

Наш автомобиль переваливает через гору, и мы попадаем в самую настоящую степь. Сердце начинает восторженно постукивать при виде бескрайнего колышущегося моря трав. В Европе такое зрелище уже недоступно, в последние полсотни лет степи ушли в небытие, уступив место агроландшафтам.

На участках, где пасут скот, степь наполнена звенящими голосами грызунов — полевок и пищух, беспрерывно снующих



За работой. В центре известный биогеограф Е.А.Востокова

в траве. В Восточной Монголии встречаются полевки Брандта и узкочерепная, пищуха даурская, сурок-тарбаган сибирский. Их жизнедеятельность очень интенсивна. Грызуны перерывают и перелопачивают грунт при рытье нор, запасают на зиму сухую траву (одна нора-колония заготавливает больше 10 кг). Поедая растения и отлагая экскременты, они формируют почву, вызывают смену растительности [2].

Омоложению степи способствуют копытные, среди которых преобладают антилопы — дзерен и сайгак. Разрушая плотный слой отмерших растений, они приводят к образованию на месте старой плешивой дерновины — нескольких обособленных новых. Антилопы очень любопытны. Услышав гудение мотора, они иногда выпрыгивают из скрывающей их высокой травы или на секунду замирают — оценивают ситуацию. Изредка из пустыни Гоби заходит примитивная лошадь — кулан.

В Восточной Монголии сухие степи занимают пологоволнистые равнины с темно-каштановыми щебнистыми почвами, для которых характерно глубокое промерзание и недостаток влаги. В дерновиннозлаковых

травостоях преобладают ковыль Крылова, змеевка растопыренная и колосняк китайский.

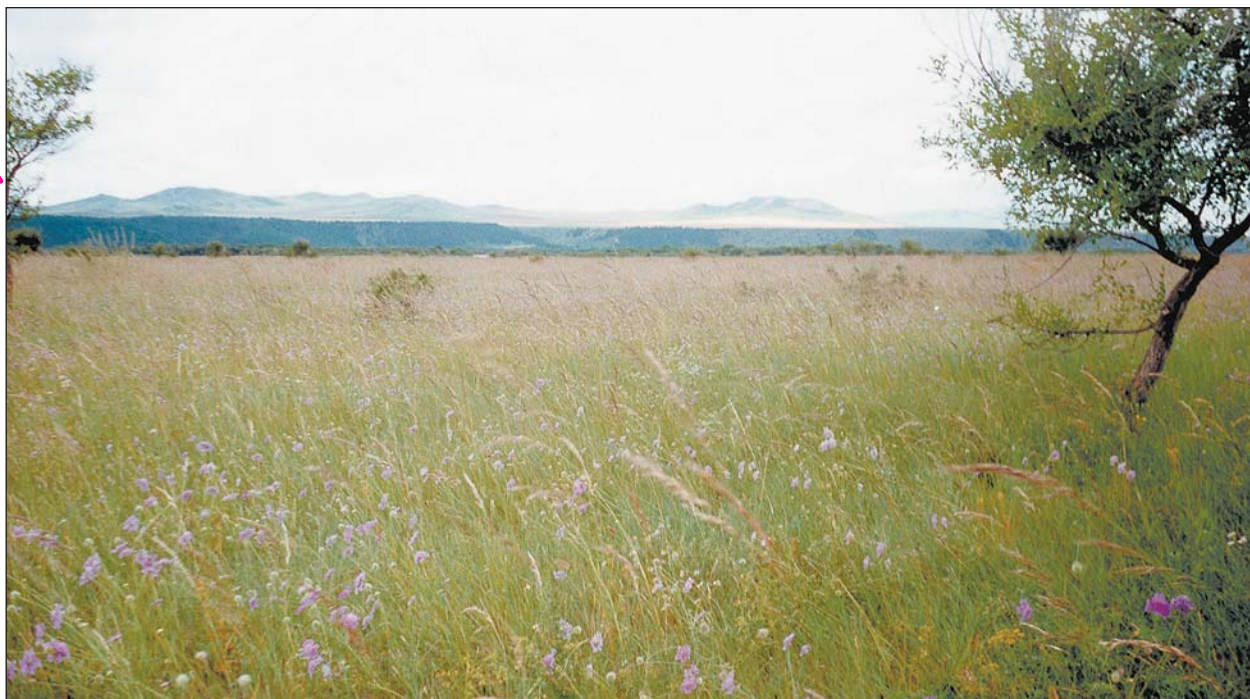
Там, где ведется интенсивный выпас домашнего скота, разрастаются низкорослые кустарники — караганы мелколистная и узколистная. Здесь, как в старой монгольской песне, — овцы, словно жемчуг, рассыпаны на зеленом ковре степи... Перевыпас скота, если он затрагивает большие площади, приводит к необратимым изменениям в растительности и почвах.

Для изучения нарушенных пастбищ мы описываем участки, различающиеся по визуальным критериям. Затем, уже в камералке, обрабатываем описания, подсчитываем в сообществах число встреч каждого вида и отбираем те из них, которые увеличивают или снижают свое постоянство при возрастании нагрузки.

Эта работа [3] позволила установить несколько стадий изменения состояния степей под влиянием выпаса скота:

— нулевая формируется при полном отсутствии выпаса на участках, где нет водоемов или зимних укрытий для скота. На таких территориях доминируют ковыли большой





Разнотравно-ковыльная степь. Видны пушистые метелки ковыля сибирского, сиреневые соцветия скабиозы венечной.

Здесь и далее фото автора



Останец, похожий на огромную собаку, окружен забором, который украшен голубыми ленточками-оберегами.

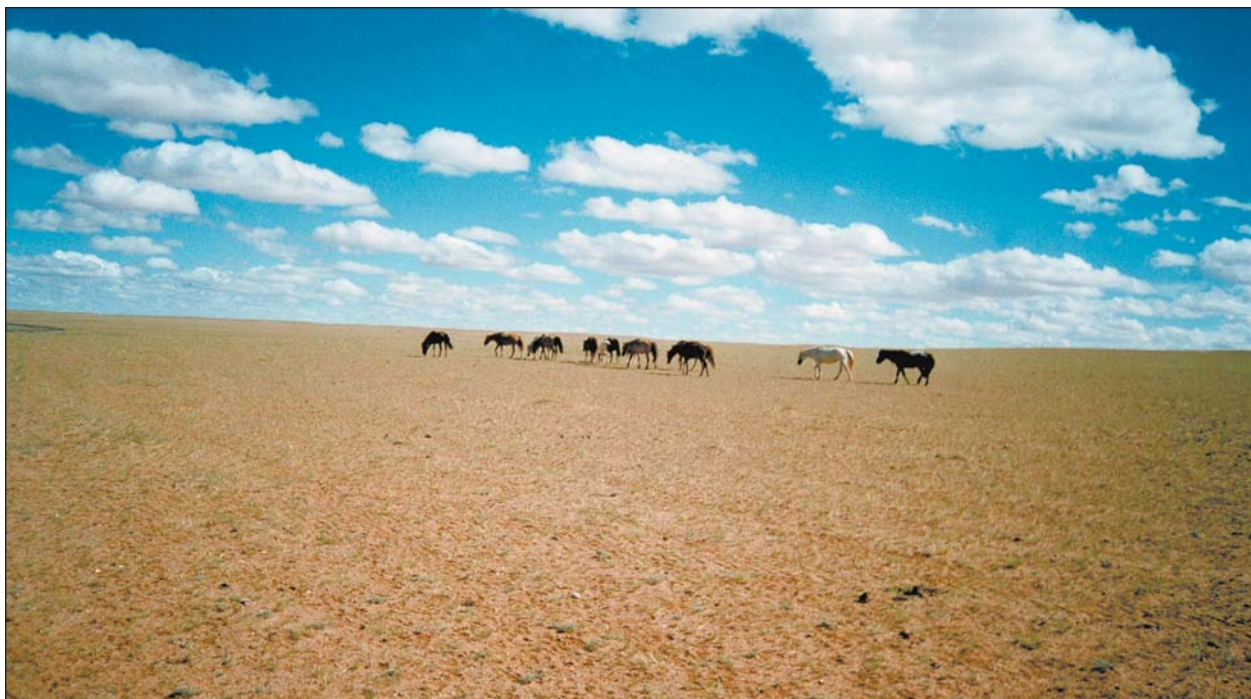
и сибирский, а также колосняк китайский;

— первая отражает слабое воздействие выпаса, в целом характерное для Восточной Монголии. В сообществах таких пастбищ преобладают ковыль Крылова, колосняк китайский, в нижнем ярусе — осока аргунская и пижма сибирская или мятлик оттянутый;

— вторая — среднее воздействие на пастбища, расположенные в трехкилометровой зоне от населенных пунктов. Дegradация угодий отмечается по снижению продукции и качества корма. Обычно здесь доминируют виды, устойчивые к выпасу скота, — осока твердоватая, змеевка растопыренная и колосняк китайский;

— третья — сильное воздействие на участки, расположенные рядом с населенными пунктами и вдоль транспортных магистралей. Здесь снижается флористическое богатство, а также высота степных растений. Доминируют полукустарничек полынь холодная, а также





Засуха. Табун лошадей на скудном пастбище с разреженным низкорослым травостоем из ковыля гобийского и лука многокорневого.

змеевка, колосняк сибирский и кустарник — карагана мелколистная. Такие нарушенные пастбища занимают небольшую площадь;

— четвертая — очень сильное воздействие вокруг зимников и населенных пунктов. Для них характерна чрезмерная нагрузка в осенне-зимний сезон, или в течение всего года. Такие пастбища (площадь их невелика) подвержены сильному влиянию грызунов. Обычно здесь доминируют полынь холодная и осока твердая.

В нашем путешествии по Восточной Монголии нередко встречи с монгольскими скотоводами — араатами. Когда подъезжаешь к юртам, видны приметы цивилизации: японский телевизор, движок «Хонда». Похоже, что люди с достатком. Но главное богатство — стадо овец, тысяча баранов для монгола — целое состояние, так как на базаре только мясо барана, без шкуры, стоит 16 тыс. тугров (примерно 428 руб.).

### Козел в собственном соку

Монголы радушны и гостеприимны. Основу питания здесь составляет молочная и мясная пища. (В последние годы, правда, возрос спрос на овощи и фрукты, большая часть которых завозится из Китая.)

Колоритна национальная кухня. За долгую историю монголы приспособились восполнять нехватку витаминов мясом, прошедшим короткую термическую обработку. Нам удалось отведать бодак — блюдо, рецепт которого, возможно, сохранился с каменного века, когда еще не умели делать даже глиняную посуду. Козел или тарбаган (крупный сурок) жарится в собственном соку, вместо котла — шкура. Не снимая ее, тушу потрошат через горло. Вынимают и вычищают внутренности, вытаскивают кости с мясом (это под силу сильным рукам). Затем через горловину закладывают назад мясо вместе с пряностями и раскаленными на огне камнями. Горловину зашивают,



Каменный гриб — выветрившийся останец причудливой формы.

тушу подвешивают на вертеле и крутят над костром или обрабатывают паяльной лампой. Затем опаленную кожу тщательно выскребают и моют. В начале трапезы тушу разрезают, и всем гостям раздают горячие камни. Их невозможно удержать в руках и приходится перебрасывать с ладони на ладонь. Говорят, что камень из бодака, который удалось впервые отведать в текущем году, способен восстанавливать душевное равновесие и поднимать настроение, достаточно его разогреть в печке, духовке или на костре. Но бодак — блюдо праздничное, готовить его не просто и довольно долго.

Чаще угощают бозами — приготовленными на пару большими пельменями, в которые мясо мелко нарезается, или гетисом — сваренными потрохами с тонкими кишками, начиненными кровью.

В дороге на скорую руку готовят хайдман — смесь муки, сметаны и сахара — или арвайн гурил, в который, кроме муки добавляется масло и горячий чай. Очень вкусны и питательны разнообразные овечьи сыры.

Не перечислить напитки и разные блюда из кобыльего и верблюжьего молока. А знаменитый сутый чай из заваренного зеленого плиточного чая, сдобренного молоком и солью и иногда обжаренным сырым пшеном, отменно утоляет жажду в жару.

Недалеко от китайской границы нам удалось увидеть примы охоты на тарбагана. Охотник, держа ружье правой рукой, а левой размахивая белым хвостом яка, приближается к зачарованно застывшему от такого неожиданного зрелища грызуну, пока не достигает удобного для выстрела места.

Степь привлекательна не только днем. Вечером, на закате, чистый воздух, как линза, отражает лучи уходящего солнца, и восток окрашивается такими же яркими красками, что и запад. Яркое, постоянно меняющееся полыхание, подобное северному сиянию, но с преобладанием теплых оранжево-красных тонов, охватывает небо. А ночью создается ощущение, что находишься в планетарии — небо усеяно крупными, приближенными звездами. Кажется, что

чувствуешь быстрое движение Земли в космическом пространстве. Чтобы не пропустить после рабочего дня чудесное зрелище, приходится идти на хитрость — выпить перед сном две-три кружки суготоу чая.

## Восточная Гоби

На юге степи сменяются полупустынями и пустынями. Восточная Гоби. Яркосиний купол неба, выгоревший у горизонта, где неподвижно застыли маленькие, белые, безводные облака, а под ним — бескрайняя равнина, усыпанная серой галькой и мелкими кусочками щебня, иногда с включением красных, оранжевых, желтых и зеленоватых осколков халцедонов. Изредка встречаются полукустарнички. Своеобразен мрачноватый калорит каменистой «черной» Гоби с выходами базальтовых пород. Плоские понижения выделяются ярким бирюзово-зеленым цветом. Это однолетние солянки с вкраплениями серовато-белесоватых пятен голого щебнистого грунта, покрытого корочкой соли. Растительность скудная, но с большим количеством питательных веществ, и поэтому мясо пасущихся здесь животных очень вкусное. Ценится также козья и овечья шерсть, из которой монгольская фирма «Гоби» вырабатывает легкие, ноские кашемировые изделия, дорогие, но пользующиеся большим спросом.

Конец августа. Последний дождь прошел два месяца назад. Засуха. Как обычно, она сопровождается нашествием саранчи. На отдельных участках все растения съедены, кроме нелюбимых ею полыни и колосняка китайского. Съедена и ветошь — сухая, прошлогодняя трава. Жара +37°. Мы изучаем влияние на растительность выпаса — на изолированных от него и используемых пастбищах измеряем и срезаем все растения, чтобы сравнить участки по видовому составу, структуре и фито-



Каменная «черная» Гоби с выходами базальтов.





Песня верблюда.

массе. Растения низкорослые, буровато-серого цвета и почти не различимы на фоне щебнисто-галечникового материала, покрывающего почву. Учетная площадка, на первый взгляд, кажется лишенной растительности, хотя здесь более 20 видов.

Бросается в глаза большое число павших от бескормицы животных — молодых дзеренов и коров. Пастухи говорят, что их можно было бы спасти, если вовремя перегнать на горные пастбища, где еще сохранилась трава.

Заметив огромный, тысячеголовый табун дзеренов, выходим из машины. Эти красивые,

выносливые и быстрые антилопы, как и все дикие животные, очень любопытны и застывают: не понятно, кто за кем наблюдает. Но попытка приблизиться к ним с камерой не удалась. Стадо вздрогнуло, и как золотисто-коричневый поток, перетекло через гору. Из антилоп в Гоби также можно увидеть джейранов с красивыми лировидно изогнутыми рогами. Обычны табуны домашних лошадей. Раньше водилась дикая лошадь Пржевальского, в последние годы проводят ее реинтродукцию в места исконного обитания — пустыню Гоби и к юго-западу от Улан-Батора, в район Хустейн-Нуру.

Вечер. Яркий, как в степи закат. Издали, со стойбища, доносятся протяжные, гортанные вскрики верблюжат, зовущих своих мам с пастбища. Постепенно опускается сказочная ночь с мириадами звезд.

В этой экспедиции было пройдено немало дорог, заложены новые площадки для многолетних наблюдений за растительным покровом и почвой. Если повезет, вернемся сюда и в следующем году. А пока нас ждет обработка полевых материалов и, конечно, — приятные воспоминания о бескрайних просторах Восточной Монголии. ■

## Литература

1. Чернойрова А.А. Монгольская Народная Республика: Экономико-географическая характеристика. Иркутск, 1985.
2. Дмитриев П.П. Численность мелких млекопитающих как индикатор нарушенности степных экосистем Монголии // Метод. вопр. оценки состояния природ. среды МНР. Пушино, 1990.
3. Микляева И.М., Востокова Е.А. // Вестн. МГУ. Сер.5. География. 2001. №1. С.24—30.

## В Мексике сооружается крупнейший телескоп

На востоке Мексики (штат Пуэбла), на горе Ла-Негра (около 5 тыс. м над ур.м.), начато строительство мексикано-американского Большого миллиметрового телескопа — LMT (Large Millimeter Telescope). Ему предстоит стать крупнейшим в мире среди астрономических приборов, которые ведут наблюдения в данном диапазоне частот. С его помощью будут изучаться ранние стадии образования галактик, хорошо прослеживаемые именно в миллиметровом диапазоне благодаря значительному красному смещению их излучения.

Кроме того, предстоит собирать информацию о весьма удаленных галактиках и о молекулярных газовых облаках в нашей Галактике. Конструкция телескопа позволит получать изображения крупных участков звездного неба вдвое быстрее, чем это сможет делать установка ALMA (Atacama Large Millimeter Array — Атакамская крупная миллиметровая сеть), которая ныне возводится в Чили совместными усилиями США и стран Западной Европы.

Чашеобразная антенна телескопа на поддерживающей ее конструкции достигнет в диаметре 50 м при общей высоте с 15-этажный дом. Головным учреждением нового проекта с мексиканской стороны является Национальный институт астрофизики, оптики и электроники, которым руководит А.Серрано (A.Serrano), со стороны США — Университет штата Массачусетс, представленный астрономом П.Шлёрбом (P.Schloerb). Стоимость сооружения оплачивается поровну — по 40 млн долл. с каждой стороны. LMT должен вступить в строй в 2004 г. (на два года позже намеченного срока, что вызвано

финансовыми трудностями, так как расходы превысили предполагаемый уровень).

Science. 2001. V.291. №5506. P.974 (США).

## Уран лишился одного спутника

В декабре 2001 г. Международный астрономический союз (МАС) отказался причислить к спутникам Урана объект S/1986 U<sub>10</sub>, сочтя недостаточными доказательства его принадлежности к системе Урана.

Объект S/1986 U<sub>10</sub> открыт в мае 1999 г. Э.Каркошкой (E.Karkoschka; Аризонский университет, США) — через 13 лет после визита «Вояджера-2» в систему Урана. Каркошка обнаружил его на семи снимках из архива «Вояджера-2» при их сравнении с более поздними изображениями, полученными с помощью Космического телескопа им.Хаббла. Объект временно обозначили S/1986 U<sub>10</sub> (т.е. 10-й спутник Урана, открытый по снимкам 1986 г.). Предварительные расчеты показали, что он находится в 75 тыс. км от планеты на очень вытянутой орбите. Судя по яркости объекта, его диаметр не превышает 40 км.

К сожалению, все попытки повторных наблюдений S/1986 U<sub>10</sub> закончились неудачей. В соответствии с современными правилами МАС этот объект нельзя считать спутником Урана. Интересно, что правила ужесточились только в последние годы, и если бы S/1986 U<sub>10</sub> не «дождался» своего обнаружения 13 лет, а был замечен сразу же, в 1986 г., то по действовавшим тогда правилам он был бы утвержден в качестве спутника и считался бы сейчас потерянным. На данный момент у планеты Уран известно 20 спутников. По их числу он занимает третье мес-

то в Солнечной системе после Сатурна и Юпитера.

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

## Вулкан Биг-Пен не дремлет

На самом юге Индийского океана, в субантарктических водах, находится о.Херд (53°06'ю.ш., 73°30'в.д.), представляющий собой одну из многочисленных вершин подводного хребта Кергелен. Остров (2745 м над ур.м.) образован некогда слившимися водоедами вулканами — Диксоном и Биг-Пеном.

В конце 2000 г. этот известный своим буйным нравом вулкан проснулся в очередной раз после недолгой спячки и не утихал всю первую половину 2001 г. Из пещеры Атлас, находящейся в 15 км от вершины вулкана, 2 февраля начали вырываться желтоватые облака газов (правда, ни лавы, ни каменных бомб при этом не извергалось). Вскоре над островом поднялся столб дыма высотой не менее 1 км, исходивший, видимо, из ранее не известной расщелины на склоне пика Моусон, а затем по склону на 1.5 км вытянулся поток черной лавы шириной около 100 м.

Австралийские и южноафриканские полярники облетели о.Херд на вертолете и подтвердили наличие активно «работающей» новой крупной трещины. Однако в деталях состояние Биг-Пена неизвестно: постоянных жителей на острове нет, а находящуюся здесь небольшую полярную станцию, которая принадлежит Австралии, лишь изредка посещают ученые.

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

# Сунгирь в новой экспозиции Владими́ро-Суздальского музея-заповедника

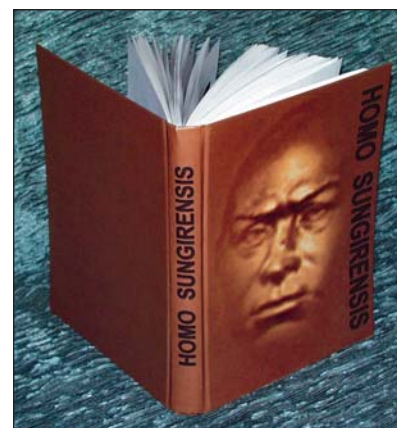
Г.В.Короткевич

Москва

Около 30 тыс. лет назад неподалеку от нынешнего г.Владимира, на левом берегу р.Клязьмы при впадении в нее ручья Сунгирь, уже существовало поселение древних людей. Напомним, что впервые эту верхнепалеолитическую стоянку — одну из наиболее северных на Русской равнине — начал обследовать в 1956 г. О.Н.Бадер [1, 2], и с тех пор уже почти 50 лет ее изучают археологи и антропологи, постепенно раздвигая границы наших знаний о людях той древней эпохи. Поистине мировую известность стоянка Сунгирь получила в 60-е годы благодаря открытию уникальных захоронений — полного скелета взрослого мужчины и двух скелетов детей в парном погребении. До сегодняшнего дня — это первая и пока единственная находка палеолитических погребений на территории России, причем среди всех известных науке погребений того времени — наилучшая по своей сохранности, а с точки зрения палеоэтнографии — самая богатая по сопровождающему человеческие останки инвентарю и по сложности ритуального обряда погребения.

Весь этот уникальный археологический, антропологический и палеоэтнографический мате-

риал специалисты подвергли всестороннему и углубленному исследованию. Еще в 1968 г. М.М.Герасимов восстановил по черепу внешний облик мужчины, а в 1984 г. появилось наиболее полное для того времени описание антропологических находок из Сунги́ря [3]. Их анализ проводился на основе классической краниостеологической и новой тогда одонтологической методик. Но сейчас границы антропологии существенно расширились благодаря новейшим методам исследования. Были выявлены рентгеноструктурные, морфологические и гистологические особенности скелетов сунгирцев, что позволило, в частности, по характерным изменениям в суставах определить, какую постоянную работу выполнял член сообщества, какие получал травмы. Химический и микроэлементный анализ костной ткани показал, чем питались сунгирцы, чем болели. Молекулярно-генетические исследования помогли установить половую принадлежность останков, позволили оценить своеобразие древнего населения на генетическом уровне. Стало понятным, как приспособивался первобытный человек к природной среде, к той своеобразной климатической обстановке, которая сложилась на Русской равнине в периоды существования



Представленная на презентации во Владимиро-Суздальском музее-заповеднике коллективная монография, посвященная исследованиям сунгирских находок.

Сунгирской стоянки. Наконец, ученые попытались проникнуть в глубинные стороны социальной и духовной жизни сунгирцев, понять, как они воспринимали окружающий мир.

Все эти разнообразные аспекты исследования Сунгирской стоянки и ее обитателей нашли более подробное отражение в коллективной монографии, обобщившей итоги многолетнего изучения антропологических материалов памятника [4]. Презентация этого фундаментального труда состоялась





Погребение взрослого мужчины (на дно могилы подсыпана охра). Сунгирь, раскопки 1964 г.





Браслет из бивня мамонта с точечным орнаментом из погребения мужчины.



Вещи, обнаруженные в парном погребении детей: диск из бивня мамонта с прорезным орнаментом — вероятный символ Солнца (диаметр 5.5 см); скульптурное изображение мамонта, выполненное из бивня (высота 8 см); так называемый «жезл» из бивня мамонта с точечным орнаментом (длина 18.5 см).



Фрагмент одежды: сапоги, сшивавшиеся со штанами. У щиколоток и под коленями — перевязи, украшенные бусинами.

**Фотографии экспонатов музея любезно предоставлены его сотрудниками.**



Одежда сунгирского мужчины, искусно выполненная А.Н.Муравьевой. Использована не шкура, а искусственная замша, воспроизводящая природную структуру материала; натуральным мехом имитирован мех северного оленя. Коричневый цвет не фантазия: его могли добывать копчением шкуры над очагом.

в конце 2001 г. в Палатах Владимиро-Суздальского музея-заповедника. Именно в фондах этого музея находится коллекция археологических находок со стоянки Сунгирь, насчитывающая почти 70 тыс. предметов. Научный коллектив, возглавляемый генеральным директором А.И.Аксеновой — знатоком и энтузиастом музейного дела — не только бережно хранит, реставрирует и изучает бесценные находки, но и представляет их посетителям в обновляющихся экспозициях и на передвижных выставках.

Недавно в музее-заповеднике завершена коренная переделка экспозиции «История Владимирского края с древнейших времен». Достойное место отведено в ней и материалам со стоянки Сунгирь. О современных способах показа археологических материалов рассказала заведующая историческим отделом М.Е.Родина.

Организация разделов по древнейшей истории вызывает, по ее мнению, наибольшие трудности. До сих пор в основном сохраняется коллекционный и систематический способ демонстрации находок: экспонаты в витринах располагаются в соответствии с принадлежностью к той или иной археологической культуре, конкретному памятнику или же — типологическими рядами. Однако такая классическая система презентации материала интересна и понятна узкому кругу специалистов. Между тем музеи призваны выполнять важную научно-просветительскую роль. И здесь необходимо избегать монотонности, сухости в показе коллекций. Спецификой современного исторического музея должно быть, считает Родина, разумное соединение научной ин-

формации с ее эмоциональным восприятием. Особенно это важно при оформлении разделов по истории родного края, которые посещают дети: представленные материалы должны не только донести до пришедших сюда новые знания, но и произвести на них неизгладимое впечатление. Примером такой экспозиции, где посетитель не остается сторонним наблюдателем, а становится непосредственным участником «исторического процесса», может служить недавно созданный во Владимиро-Суздальском музее-заповеднике детский центр «Путешествие в каменный век». Здесь посетителей переносят на 25 тыс. лет назад, в эпоху верхнего палеолита. В «уголке палеолитической природы» они повстречаются с лохматым мамонтом в натуральную величину, северным оленем и другими представителями тогдашней фауны. Подлинные кости мамонта, шкуры оленей и муляжи шкур использованы при сооружении древнего жилища. Внутри него можно попробовать добыть огонь или изготовить каменное орудие, а в «святилище» совершить ритуал подготовки к охоте. И дети, и взрослые не просто играют в древних людей, но знакомятся с подлинными древностями. Так рождается ощущение непосредственного соприкосновения с минувшей эпохой.

В разделе новой экспозиции по истории Владимирского края, посвященном Сунгирию, сотрудники использовали свой основной метод: комплексы, отражающие различные стороны жизнедеятельности человека, показываются на основе научных реконструкций с преобладанием подлинных вещей. Как и прежде, неизменными экспонатами остаются скульптурные

портреты обитателей стоянки, воссозданные М.М.Герасимовым и его учениками; гипсовая копия парного детского захоронения; многочисленный кремневый и костяной инвентарь, показывающий уровень развития первобытной техники; искусно выполненные украшения. Но теперь для всеобщего обозрения представлены еще и такие уникальные вещи, как фигурки животных, солярные символы — диски, «жезлы». Показана также одежда взрослого мужчины, которую впервые реконструировала А.Н.Муравьева — хранитель коллекции Сунгирия.

Как известно, в погребениях было найдено огромное количество бусин, изготовленных из бивня мамонта и располагавшихся на костяках в определенном порядке. По мнению О.Н.Бадера, бусы были нашиты на одежду погребенных, которая могла напоминать костюм северных народов. При ее воссоздании археологи взяли за основу самые простые варианты: рубаху-малыцу народности нганасан и ненецкие штаны и сапоги, шившиеся из шкуры оленя. На одежду нашили более 3,5 тыс. бусин в точном соответствии с их расположением на костяке — конечно, это не подлинные экземпляры, а новоделы, изготовленные художником-керамистом М.Павлихиным. Находки с Сунгирия представлены в ситуациях, воспроизводящих реалии далекого прошлого.

Посещение Владимиро-Суздальского музея-заповедника, где даже посетители залов облачены в одежды, соответствующие времени демонстрируемых экспозиций, вызывает неподдельный интерес к истории, оставляет у пришедшего сюда человека неизгладимо яркие впечатления. ■

## Литература

1. Бадер О.Н. Человек палеолита у северных пределов ойкумены // Природа. 1971. №5. С.30—39.
2. Позднепалеолитическое поселение Сунгирь (погребение и окружающая среда). М., 1998.
3. Сунгирь: антропологическое исследование. М., 1984.
4. Homo sungsirensis: Верхнепалеолитический человек: экологические и эволюционные аспекты исследования. М., 2000.

# Зимние гости

В.И.Булавинцев,

кандидат биологических наук

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

Не балует городская природа своими красотами. В каменных джунглях живая земля запечатана асфальтовой и бетонной броней, полчища шуршащих резиной жестяных монстров травят воздух, изводят зелень выхлопными газами. Какие уж тут красоты!

Зимой немного легче. Укрывают снега унылую грязь, скрашивают убожество людского быта. Случаются в эту пору редкие, неожиданные подарки природы. Появляются в городах ненадолго, пролетом, стаи чудных северных гостей — свиристелей (*Bombycilla garrulus*).

Удачней назвать этих птиц вряд ли возможно. Их мягкие серебристые трели льются в душу нежнейшей музыкой. Сказочно красивы и сами птицы. Бархатисто-черный ремешок от небольшого клюва до хохлатого затылка и черное горлышко придают птичке вид строгий и элегантный. Охристо-розовое перо на спине и грудке переходит ближе к хвосту в серовато-пепельное. Черные крылья и хвост оторочены ярко-желтой каймой. У старых птиц, особенно самцов, на кончиках хвоста и кроющих крыльев — кораллово-красные «костяные» капельки, довершающие великолепие ок-



Самка, дремлющая после сытного обеда.

Здесь и далее фото автора

© В.И.Булавинцев



Рябина — любимый корм свиристелей.

Позирующая красавица.



раски. Это поистине «райские» птицы, только обитают они в Скандинавии, на севере России и Канады. На американском континенте встречается кедровый свиристель (*B.cedrorum*), а у нас, в Приамурье и на юге Хабаровского края, — амурский (*B.japonica*).

Гнездится обыкновенный свиристель в таежных лесах и в лесотундре, на зиму откочевывает в поисках ягод рябины, калины, можжевельника, боярышника и диких яблок далеко на юг, вплоть до Средней Азии. В марте сотенные стаи тянутся через многолюдные города и села на север, возвращаясь на свою далекую и суровую родину.

Летняя жизнь свиристелей долгое время оставалась загадкой. Только в 1856 г., после упорных многолетних поисков, натуралист Дж.Воллей нашел гнездящихся птиц в Лапландии.

Зимой, на кочевках, птицы доверчивы, но в тайге, у себя на родине, скрытны и осторожны. К размножению приступают с середины мая, устраивая довольно крупные гнезда на елках, соснах, реже на лиственных деревьях. Строится гнездо из мелких веточек, мха и лишайников, внутри устилается пухом и перьями. Обычно в кладке бывает пять-шесть серо-голубых в темных пятнышках яичек. Две недели рядом самочка согревает их, а супруг подкармливает ее

в гнезде. Птенцам приносят насекомых, больше всего — комаров, оба родителя. К началу июля молодежь одевается во взрослое перо, а уже в конце месяца или начале августа птицы собираются в стаи.

Движения свиристелей в зимних стаях удивительно синхронны, ни дать ни взять — балет в воздухе. Полупрозрачный перламутр бесчисленных крыл, сбивающих серебро инея с пунцовых кистей рябин, хрустальные трели и царственно нежное, цвета персика, оперенье птиц не оставляют равнодушными даже людей далеких от природы, заставляя зачарованно замирать перед нерукотворной красотой. ■

# Судьба окружающей среды в США

Е.В.Бизина

Одно из первых впечатлений при снижении самолета, летящего из Нью-Йорка в Бостон, — ощущение, что один мегаполис плавно перетекает в другой. Строения льюитт-таунз (однотипных маленьких городов) не прерывались никакими естественными ландшафтами. Казалось, что в урбанизированной Америке лозунг: «Все меньше окружающей природы — все больше окружающей среды», — полностью себя оправдывает. Однако при «большем увеличении», выяснилось, что это отнюдь не так: природа в США просто живет среди домов. За ней нежно ухаживают, ее берегут и заботятся, как о младенце. Конечно, без издержек и здесь не обходится — отсутствие первозданной дикой природы компенсируется живописными окультуренными ландшафтами, будь то леса, парки или водоемы. Американские парки и так называемые биодома, где сконцентрированы в огромных оранжереях разнообразные птицы и беспозвоночные, а также колоссальные аквариумы, — настоящие оазисы в городах. Эти места для семейного и туристического отдыха по праву могут считаться достижениями рекреационной экологии. Однако история эко-



*Елена Викторовна Бизина, кандидат биологических наук, преподаватель Вологодского государственного педагогического университета. Область научных интересов — экология.*

логического благополучия в Соединенных Штатах складывалась нелегко — век экологии совпал с веком «экологического неравенства».

## История

Охрана окружающей среды в США как движение и элемент государственной политики насчитывает немногим более 100 лет, и ее начало тесно связано с именем президента Теодора Рузвельта. Вопреки собственному большому охотничьему азарту Рузвельт в 1900 г. начал широкую кампанию по охране значительных по площади живописных уголков США. Казалось бы, страна, где к 1870 г. отстреливали 7 млн бизонов в год и где для охраны этих животных в 1872 г.

был создан первый в США Йеллоустонский национальный парк, безнадежно опоздала. Однако едва начавшись, движение за сохранение американских ландшафтов сразу стало набирать обороты и пользоваться поддержкой населения. Вообще трепетное отношение американцев к своей природе — во многом национальное экологическое правосознание. Чтобы понять это, достаточно взглянуть на ухоженные садики и газоны, огромные цветники около домов, обилие белок в городах и настоящее буйство жизни в окрестных лесах. Если хотите увидеть совсем рядом диких оленей, енотов, бурундуков и разнообразных птиц, то не обязательно ехать на Аляску: они в большом количестве встречаются как в урбанизиро-

© Е.В.Бизина





Долина Монументов (штат Юта).

Здесь и далее фото А.П.Горбатовой

ванной Новой Англии, так и на среднем западе — в Мичигане и Миннесоте.

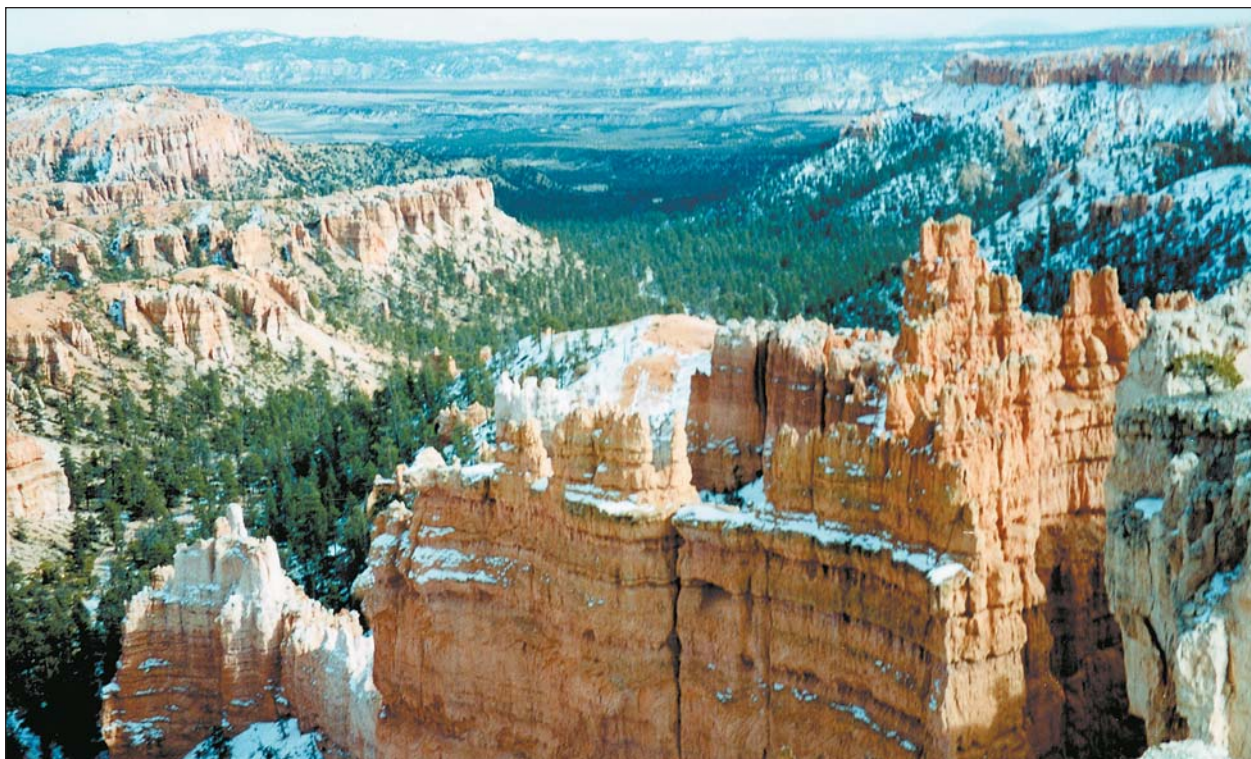
В начавшейся 100 лет назад эре консервационизма наиболее выдающимися фигурами были Г.Пинчо и Дж.Мьюир — влиятельные советники президента и одновременно непримиримые оппоненты. Пинчо считал, что смысл охраны природы — это мудрое использование ресурсов и безотходное производство. Он оказался первым начальником лесной службы США и повел борьбу с «лесными баронами». В конце XIX в. Пинчо специально ездил в Европу (в Германию и Россию) поучиться лесному хозяйству, а именно — научному подходу к использованию, восстановлению и охране лесов. Мьюир основал знаменитый Сьерра-Клуб (общественную организацию по охране редких и исчезающих видов животных). Будучи оппонентом Пинчо, он требовал от президента и правительства создания

в стране большого количества заповедников и других охраняемых природных территорий. Из-за требований полной и срочной охраны уникальных ландшафтов движение, возглавляемое Мьюиром, получило название «презервационизм» (заповедничество). И хотя активно развивающийся бизнес требовал все больше земель, под давлением Мьюира президент принял исторический акт — в 17 западных штатах государство приобрело 100 млн акров земли для последующего превращения их в охраняемые территории. Однако частичное использование этих земель (например, под выпас скота) по-прежнему было разрешено.

Само по себе данное решение в стране, где право частной собственности священо, — очень серьезный и требующий от государства больших расходов шаг, но в дальнейшем количество охраняемых территорий в США многократно увеличива-

лось, и теперь их насчитывается около 365 (118 только в западных штатах). Тем не менее фермеры начали злоупотреблять правом выпаса скота на охраняемых землях. Великие Равнины интенсивно эксплуатировались, и первые тревожные сигналы появились уже в середине 30-х годов 20-го столетия. Пыльная буря, унесшая в воздух тысячи тонн плодороднейшей земли из центральных штатов (Канзаса, Небраски и Нью-Мексико) в Атлантический океан, — результат нерационального ведения сельского хозяйства, что стало одной из причин великой депрессии. Правда, вслед за этим начался резкий экономический подъем, чему во многом способствовали ослабление Европы во второй мировой войне и разрушение ее продовольственного рынка. Американский же бизнес существенно расширился — производство всего и вся начало расти бешеными темпами, однако и загрязнение тоже.





Национальный парк Брайс-Каньон (штат Юта).

В результате в 1963 г. загрязнение воздуха в Нью-Йорке стало столь критическим, что около 300 человек погибло, а тысячи — получили серьезные отравления. В ручьях и речках накопилось много детергентов. В 1969 г. участок р.Огайо, до предела насыщенный нефтепродуктами, просто взорвался и горел несколько дней на протяжении нескольких сотен метров. Практически в то же время «всплыло кверху брюхом» все рыбное население оз.Эри. В 1962 г. Р. Карсон в своей книге «Мертвая весна» поведала о вреде ДДТ — пестицида, который активно использовали против вредителей сельскохозяйственных культур в Америке и многих других странах, в том числе и России. Белоголовому орлу — символу США — грозило полное исчезновение, и виной всему был пестицид ДДТ, который влиял на прочность скорлупы яиц; самка, сидя на гнезде, своим весом просто раздавливала

хрупкую кладку. Все эти события вызвали мощную волну протестов, в результате были приняты законы, запрещающие использование пестицидов и требующие принятия срочных природоохранных мер.

## Законы

В 1970 г. был принят Федеральный закон о государственной политике в области охраны окружающей среды. Интересно, что он «прошел» в период республиканского правления президента Р.Никсона. Республиканцы, известные своим прагматизмом, считали подобные акты излишними и видели в них лишь угрозу развитию бизнеса. Тем более удивительно, что на базе этого комплексного закона вскоре (в 1972, 1978 гг. и позднее) появились и другие: о чистой воде, о чистом воздухе, о редких и исчезающих видах, об отходах и т.д. Аналогичные

акты были введены в нашей стране только в 1990-е годы, при том что законодательные основы в России появились еще в XI в. (в Русской Правде). Внимательное их изучение показало, что многие как две капли воды совпадают с американскими двадцати- и десятилетней давности. Жаль только, что вместе с их текстом мы не унаследовали механизмы принудительного исполнения, так как, на мой взгляд, именно эти жесткие и четкие «методы привлечения к ответственности» — самое ценное звено в американском экологическом законодательстве.

Для сравнения приведу пример. Как известно, основная мера ответственности за экологические правонарушения во всем мире — штрафы. По нашему КоАПу (Кодексу об административных правонарушениях), промышленные предприятия за нарушение природоохранного законодательства (обычно за-



Долина Смерти в пустыне Мохаве (штат Калифорния).

грязнение воды или воздуха) платят по решению суда однократный штраф — обычно около 400 минимальных зарплат. Американские предприятия тоже платят, но, как правило, много больше — не менее 20—25 тыс. долл., причем за каждый день! Эта маленькая, но существенная поправка была принята Конгрессом сразу же, как только выяснилось, что прибыли с ливой покрывают даже приличные суммы штрафов. У нас же денежные взыскания в крайнем случае могут возрасти максимум в два—четыре раза в зависимости от региона. Но даже тогда они остаются незначительными для нарушителей, и, что самое прискорбное, их уплата не принуждает администрацию серьезно относиться к природоохранным требованиям на производстве.

Строгие и крепкие «клещи» обязательного для всех закона вынуждают американских руководителей и менеджеров предприятий брать кредиты для того, чтобы устанавливать дорогостоящие очистные сооружения.

В результате за последние 20 лет качество воздуха и воды в США существенно улучшилось. Около 70% всей водопроводной воды в стране соответствует самому высокому классу очистки — классу «А», т.е. питьевой. Конечно, природоохранная политика во многом зависит от действий администрации конкретного штата и его экономических функций в стране. Но в общем благополучной Америке есть отдельные города и даже целые штаты, например, г.Гари (штат Индиана) и штат Нью-Джерси, где сконцентрированы огромные промышленные комплексы. Однако и там предприятия платят огромные штрафы за загрязнения, и таким образом средства природоохранных фондов постоянно возрастают. И никаких поблажек ни государственным, ни частным предприятиям, никаких временных разрешений на загрязнение при вводе в строй новых производств, никаких отсрочек платежей. Более того, мои американские коллеги удивлялись: «Как это возможно? Ведь такие «разрешения» созда-

ют очень благоприятную базу для взяточничества и подкупа чиновников...» Однако такое благополучие было достигнуто не столько благодаря законам, сколько — влиянию общественного мнения.

В самом начале реформ не все слои населения (прежде всего малообеспеченные, а также из афро-американских «гетто») получили выгоду от их достижений. Дело в том, что, несмотря на рост общественного движения в защиту прав граждан, начавшийся в послевоенной Америке, политический процесс и динамика рынка давали индустриальным «монстрам» и богатым собственникам решительные преимущества в формировании намечавшихся экологических изменений. И получилось так, что люди, которые более других страдали от промышленного загрязнения (загазованного воздуха, непригодной для питья воды, токсических твердых отходов), оказались лишены официального права голоса. Тем не менее расовые барьеры и социальная несправед-



ливость были преодолены именно в г.Гари — национальном центре металлургической промышленности — благодаря необыкновенной сплоченности горожан. В 1970 г. 350 негодующих граждан заполнили Законодательную палату Городского совета, чтобы лично удостовериться в том, что Закон о сокращении выбросов в атмосферу металлургическими предприятиями действительно будет принят. Невольно задаешься вопросом: а способны ли на такое единение нынешние российские граждане? И если нет, то почему? Почему не может быть проведен референдум или хотя бы судебное разбирательство, когда дело касается не то что загрязнения воздуха в одном конкретном городе, а ввоза и транспортировки через всю страну радиоактивных отходов? Ведь право на жизнь в благоприятных условиях должно быть у каждого из нас, однако на деле не реализуется даже наше право на референдум, закрепленное в 30-й статье Конституции РФ. Что же касается Соединенных Штатов, то именно активное участие населения опровергло либеральный подход к экологическому законодательству, превалировавшему в 1950—1960-х годах.

Сейчас в США уделяется много внимания развитию безотходного производства, происходит непрерывный рост наукоемких технологий, стимулируемый ужесточением экологических нормативов. В то же время узаконена продажа лимитов на выбросы, но это совсем другой подход к решению вопроса, чем принимаемые аналогичные меры у нас. Штрафы за превышение лимитов огромны и, конечно, несопоставимы с нашими, при этом принцип для всех один: «Загрязняешь — плати». Если же предприятие убыточное, то предлагаются альтернативы, например — расплата векселями, но в любом случае штрафы за природоохранные нарушения выплачиваются во-



Стадо бизонов в Йеллоустонском национальном парке.

Фото Б.Ф.Гончарова



Американский олень.

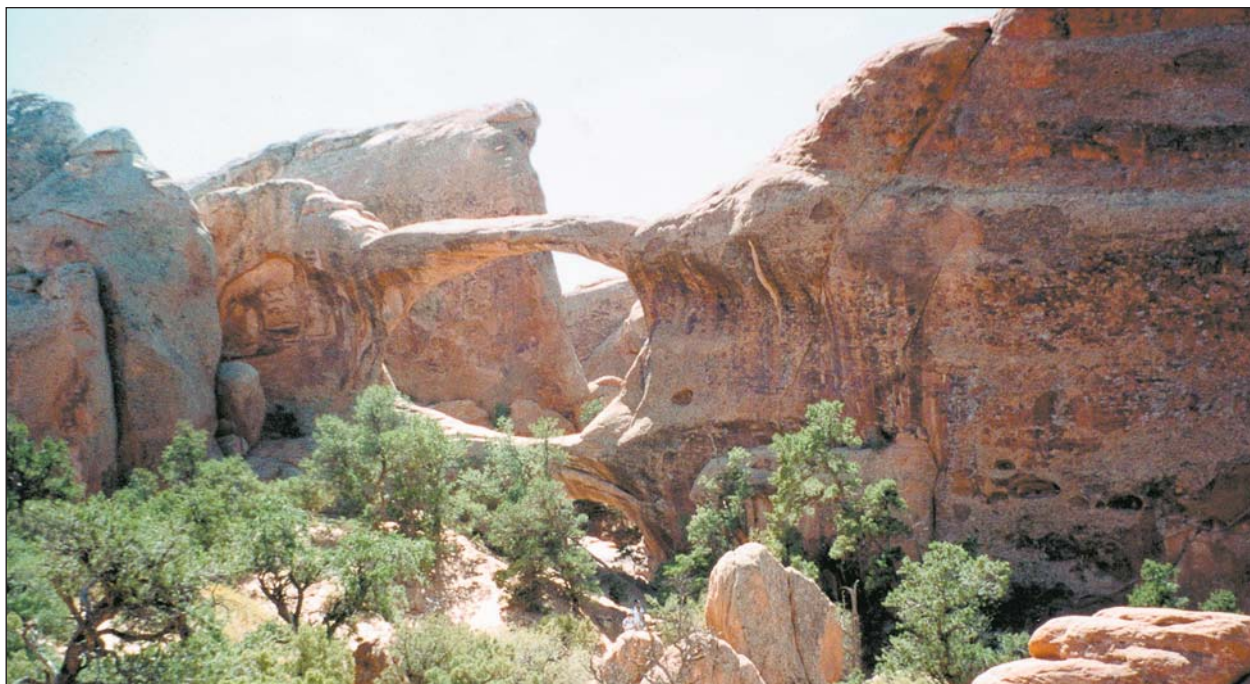
Фото Б.Ф.Гончарова

время и, без сомнения, все отчисления расходуются по назначению. Отслеживают это органы власти и специальные агентства по охране окружающей среды, в которых работают весьма квалифицированные специалисты — в основном ученые. Такие агентства нередко выигрывают «экологические» дела в судах, несмотря на финансовое могущество многих промышленных корпораций.

Важно то, что призванные проводить государственную политику в области охраны окружающей среды и следить за исполнением законов агентства относительно независимы от государства, поскольку финансируются из разных фондов и достаточно богаты, чтобы проводить собственные исследования.

Примечательно, что в США наряду с законотворчеством в области охраны окружающей





Национальный парк Арки (штат Юта).

Фото И.Н.Арутюнян

среды немало внимания уделяется экологическому образованию и научным исследованиям. В 2001 г. Конгресс США только на генетические исследования выделил около 4 млрд долл., что на 20% выше, чем в предыдущем году. Американцы, наученные горьким опытом «химизации и интенсификации», ставят уже новые задачи, в частности — развития так называемого органического сельского хозяйства (видимо, под «органическими» продуктами питания сегодня подразумевается альтернатива «синтетическим») и новых безотходных технологий в производстве. Органическое земледелие (без применения химикатов) — это еще и пример воплощения экологических знаний на общенациональном уровне, ведь ясно, что сельское хозяйство и агробизнес — разные вещи. Среди прочего экологи (и не только американские) обеспокоены проблемами, которые могут возникнуть в результате использования продуктов генной инженерии,

о чем раньше никто не задумывался. Несомненно, эти совсем новые проблемы требуют вмешательства и со стороны закона, в первую очередь — создание актов, регламентирующих производство и применение в пищевой промышленности сельскохозяйственных растений и животных с измененным геномом. Речь, конечно, должна идти не об ограничении научных исследований в области генной инженерии, а о предъявлении повышенных требований к результатам экспериментов. Пока же мнения относительно независимых экологов и генетиков, активно финансируемых сельскохозяйственными корпорациями, по поводу безвредности новых продуктов сходятся.

Очень настороженно ученые-экологи относятся и к деятельности Администрации нынешнего президента США Джорджа Буша. Уже сейчас известно о предпринятых попытках строительства дорог на территории особо охраняемых националь-

ных лесов Тонгасс и решениях о разработке нефтяных месторождений на шельфе уникальных территорий Аляски, где обитают сотни видов диких животных. Американцы активно протестуют, но этого, похоже, пока недостаточно. Однако не только в Америке современным защитникам природы сложнее, чем в свое время Пинчо и Мьюиру, найти поддержку и понимание у своих правителей. Все труднее им становится отстаивать свои требования в постиндустриальном обществе, ориентированном на постоянное потребление ресурсов и удовлетворение материальных потребностей растущего населения. ■

*Автор благодарит Кейси Фраерсон и Пола Джозефсона за ценные советы при подготовке статьи.*

**Статья написана в рамках программы «Бюро образовательных и культурных программ США». Проект IA-ASCS-G9190261.**

# Эволюция хромосом: от А до В и обратно

Н.Б.Рубцов, П.М.Бородин

**Ч**то такое хромосомы, сейчас, наверное, знают уже все. По крайней мере в школьном учебнике про них написано довольно подробно. Набор хромосом (кариотип) — надежная характеристика видовой принадлежности животных и растений. У всех представителей каждого вида их количество одинаково. Это верно для большинства видов, но далеко не для всех: у многих животных и растений наряду с хромосомами основного набора (А-хромосомами) обнаруживаются добавочные, или сверхчисленные хромосомы, так называемые В-хромосомы. Их число, форма и размер могут быть разными у представителей одного и того же вида (у одних — очень много, а у других — не быть вовсе). Так, у серебристо-черных лисиц количество В-хромосом варьирует от 0 до 6, а у азиатской лесной мыши (именно об этом виде — *Apodemus peninsulae* — и пойдет дальше речь) — от 0 до 17. Сейчас известно около 500 видов животных с В-хромосомами. В кариотипах млекопитающих В-хромосомы обнаружены у многих видов грызунов, некоторых хищников и копытных. У человека, как и у остальных приматов, В-хромосом нет. Наличие или отсутствие добавоч-



**Николай Борисович Рубцов**, доктор биологических наук, заведующий лабораторией Института цитологии и генетики СО РАН. Область научных интересов — эволюция хромосом эукариот, принципы пространственной организации хромосом, медицинская цитогенетика.



**Павел Михайлович Бородин**, доктор биологических наук, заведующий секцией рекомбинационного и сегрегационного анализа того же института, профессор кафедры цитологии и генетики Новосибирского государственного университета. Занимается проблемами эволюционной цитогенетики, генетики мейоза.

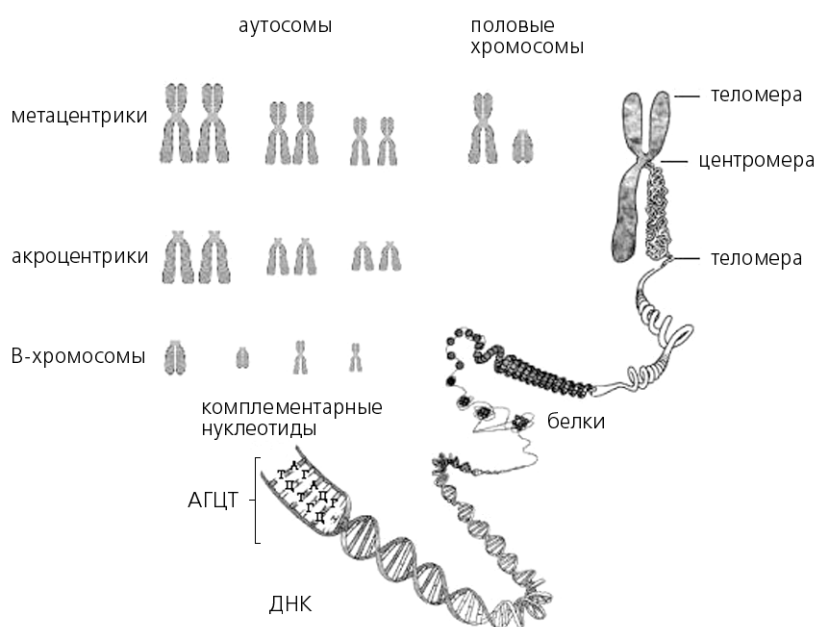
ных хромосом, как правило, никак не сказывается на фенотипе — внешнем виде и других свойствах животного.

Этот факт поначалу очень смущал исследователей, убежденных, что геном есть чертеж организма и поэтому устроен мудро, экономно и в нем нет ничего лишнего. Исходя из этого

убеждения, генетики старались найти, чем В-хромосомы могут быть полезны их носителям. Такие поиски редко заканчивались успехом, и вопрос о том, для чего нужны В-хромосомы, оставался без ответа.

Применение методов молекулярной генетики к анализу А- и В-хромосом показало, что

© Н.Б.Рубцов, П.М.Бородин



Организация хромосом млекопитающих. Хромосома представляет собой комплекс ДНК и белков. ДНК содержит генетическую информацию, необходимую для создания и функционирования организма, а белки упаковывают ДНК, причем неравномерно — одни районы плотнее других. Плотность упаковки меняется в ходе клеточного цикла. Перед началом клеточного деления хромосомы компактизируются. Каждая хромосома содержит центромеру — особый участок ДНК, к которому прикрепляются специфические белки, а к ним в свою очередь нити веретена клеточного деления. Концы хромосомы защищены теломерами. Между центромерой и теломерой находится плечо хромосомы. Положение центромеры определяет тип хромосомы. Хромосомы с центромерой на конце называются акроцентрическими (или акроцентриками), а те, у которых центромера где-то посередине — метацентрическими (или метацентриками).

и те и другие содержат огромное количество многократно повторенных и, видимо, не кодирующих белки последовательностей ДНК. Вся разница между ними состоит в том, что в А-хромосомах наряду с некодирующими повторами довольно много функциональных генов (хотя и не так много, как думали), а в В-хромосомах они вовсе отсутствуют или их число ничтожно мало. На этом фоне вопрос, зачем нужны В-хромосомы, потерял свою остроту. Прежде всего следовало понять, почему в геноме так много бессмысленных повторенных последовательностей,

и нет ли в этом избытии некоего глубокого, но скрытого от нас смысла?

История о том, как искали ответ на этот вопрос, чрезвычайно интересна и драматична. Однако ее изложение увело бы нас далеко от В-хромосом. Поиски ответа привели к заключению, что никакого смысла в бессмысленной ДНК нет. Убеждение, что геном устроен мудро, экономно и на благо организма, рухнуло. На смену ему пришла концепция эгоистического гена, в рамках которой повторенные последовательности рассматриваются как геномные паразиты, использующие клеточ-

ную машинерию для собственного размножения. Вначале концепция была чисто умозрительной, не более чем красивой метафорой, которая избавляла от необходимости поисков функционального значения избыточной ДНК. Вскоре, однако, выяснилось, что метафора оказалась довольно точной.

Было обнаружено, что большая часть бессмысленных последовательностей составлена из паразитических, вирусоподобных элементов, которые могут перемещаться по геному и размножаться как в составе хромосомной ДНК, так и вне ее. Такие мобильные генетические элементы используют механизмы генетической рекомбинации для перемещения по геному и размножения.

Рекомбинация — это процесс перетасовки генов между родственными хромосомами или внутри хромосомы. Гены, вовлеченные в этот процесс, должны быть хотя бы частично гомологичны друг другу, т.е. иметь весьма похожие участки, которые опознают друг друга и сближаются. В местах контакта возникают разрывы в молекулах ДНК и между ними происходит обмена. Затем разрывы заживают и целостность хромосом восстанавливается.

Мобильные элементы находят в ДНК хозяина короткие участки, гомологичные собственным последовательностям, и лавинообразно встраиваются в его геном. Чем больше их копий присутствует в геноме, тем больше число паразитических последовательностей и, значит, выше шанс новых перемещений. В ходе своих блужданий по геному, мобильные элементы могут прихватывать куски хозяйских генов и перетаскивать их с места на место.

Выяснилось, что А-хромосомы животных и растений насыщены паразитическими элементами, а В-хромосомы практически целиком состоят из них. Поэтому В-хромосомы можно рассматривать как шай-

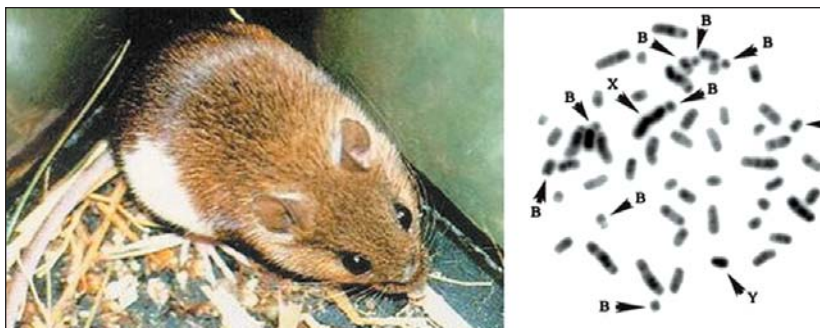


ку геномных паразитов. В таком случае вопрос о том, для чего нужны В-хромосомы, теряет актуальность: паразиты они и есть паразиты, и с этим ничего не поделаешь. Хозяева пытаются избавиться от паразитов, которые, как правило, сопротивляются. Начинается долгая и безнадежная гонка вооружений между паразитами и хозяевами, ускоряющая эволюцию и тех, и других, но не приносящая никому ни победы, ни счастья. Хозяева совершенствуют замки от паразитов, а паразиты находят к ним отмычки. В том, что мобильные элементы используют для своего размножения генетическую рекомбинацию, есть определенная доля злой шутки. Ведь основное предназначение рекомбинации в том и состоит, чтобы, перетасовывая гены, постоянно менять шифр на кодовых замках клетки. И именно ее паразиты используют как отмычку. Но это, как пишут в романах, отдельная история.

Вернемся к нашим В-хромосомам. Назвав их паразитами, мы избавили себя от необходимости отвечать на вопрос, зачем они нужны. Но понять, откуда они берутся и как собственно паразитируют на А-хромосомах, по-прежнему важно.

Пытаясь ответить на эти вопросы, мы выбрали в качестве модели В-хромосомы азиатской лесной мыши, чтобы выяснить, есть ли у последовательностей ДНК В-хромосом родственники в А-хромосомах.

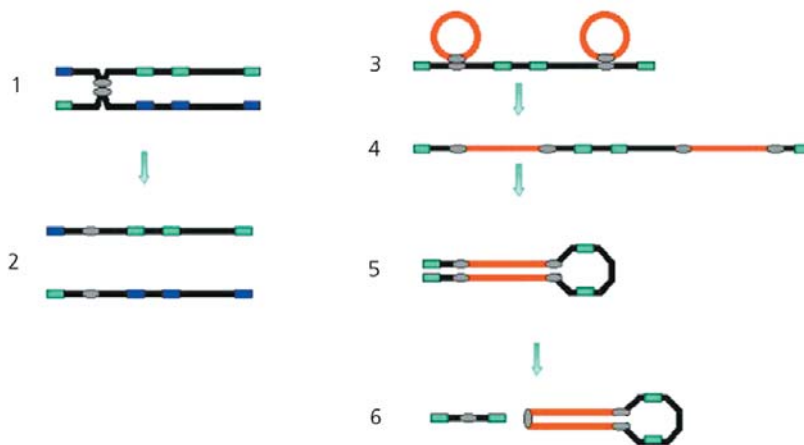
Родство между молекулами ДНК определить довольно просто. Как известно, ее двойная спираль составлена из двух цепей нуклеотидов А, Т, Г и Ц, которые зеркально отражают друг друга. Напротив А всегда стоит Т, напротив Г стоит Ц, и наоборот. Поэтому по одной цепочке всегда можно сделать вторую. Такие «зеркальные» или, как их называют, комплементарные участки ДНК удерживаются вместе связями между А-Т и Г-Ц. При высокой температуре нити



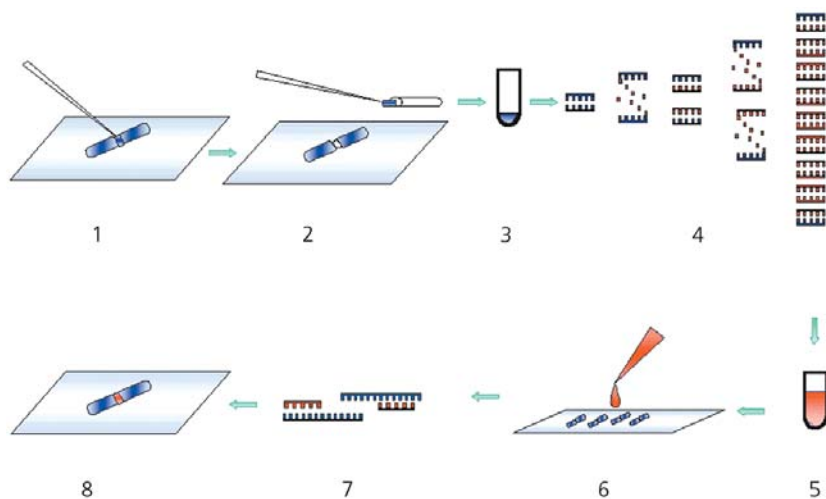
Азиатская лесная мышь (слева) и ее кариотип, который содержит 23 пары аутосом, половые хромосомы X и Y и 9 В-хромосом.

ДНК расходятся, а при ее понижении связи восстанавливаются и спирали объединяются вновь. При этом образование новых двойных спиралей прямо пропорционально комплементарности цепей. Это свойство ДНК используется в методе гибридизации нуклеиновых кислот *in situ* — на стекле. Не вдаваясь в теорию и технические сложности метода, расскажем о наших экспериментах.

Клетки полевой мыши нанесли на предметное стекло. Сверхтонкой стеклянной иглой соскребали со стекла все В-хромосомы одной клетки. Каждую хромосому помещали в отдельную микрокаплю, объем которой был в 2 тыс. раз меньше дождевой капли. Затем из каждой хромосомы выделяли ДНК и размножали (амплифицировали) в пробирке. При этом использовали нуклеотиды, к каж-



Рекombинация между молекулами ДНК, имеющими гомологичные (сходные) последовательности (серый овал). Две молекулы сближаются (1) и обмениваются участками (2). Мобильные генетические элементы (красные линии), которые содержат последовательности, гомологичные последовательностям хромосомной ДНК, могут с ней спариваться (3). В результате рекомбинации мобильные элементы встраиваются в хромосомную ДНК (4). Повторенные участки мобильных элементов гомологичны друг другу, поэтому они могут спариваться, рекомбинировать (5) и покидать хромосому, включая в свой состав участки хромосомной ДНК (6).



Получение и использование проб ДНК, меченных флуорохромом. Фиксированные хромосомы наносили на предметное стекло и тонкой иглой при тысячекратном увеличении микроскопа соскребали нужный участок хромосомы (1), переносили его в микропипетку (2), выделяли ДНК (3), амплифицировали ДНК с использованием меченых флуоресцентным красителем нуклеотидов (4, 5) и наносили на предметное стекло с распластанными на нем хромосомами (6). При температурной обработке меченные фрагменты ДНК гибридизовались с гомологичными участками хромосомной ДНК (7) и давали свечение под флуоресцентным микроскопом (8).

дому из которых присоединяли молекулы флуоресцентного красителя. Такую меченую ДНК, выделенную из конкретной хромосомы или отдельного ее района, называют ДНК-пробой. Итак, получали набор, который включал пробы для каждой отдельной В-хромосомы и для прицентромерных участков А-хромосом. Кроме того, сделали три пробы, одна из которых содержала ДНК хромосомы В2, вторая — одного ее плеча, а третья — другого, но ни одна из них не включала материала из центромерной области этой хромосомы. Разные пробы метили красителями разного цвета: например, проба на центромерные районы А-хромосом была красной, а на В-хромосомы — зеленой.

ДНК этих проб соединяли с комплиментарными участками расплетенной ДНК хромосом, распластанных на предмет-

ном стекле, и анализировали под микроскопом. Флуоресцентный сигнал наблюдался в тех районах хромосом, где меченая красителем ДНК сплелась с идентичными или родственными ей копиями ДНК хромосом.

Как мы и ожидали, каждая проба окрашивала ту хромосому, из ДНК которой она была сделана, но не только ее. Обычно проба из любой В-хромосомы полностью или частично окрашивала и другие В-хромосомы. Значит, все В-хромосомы имеют общие повторы ДНК.

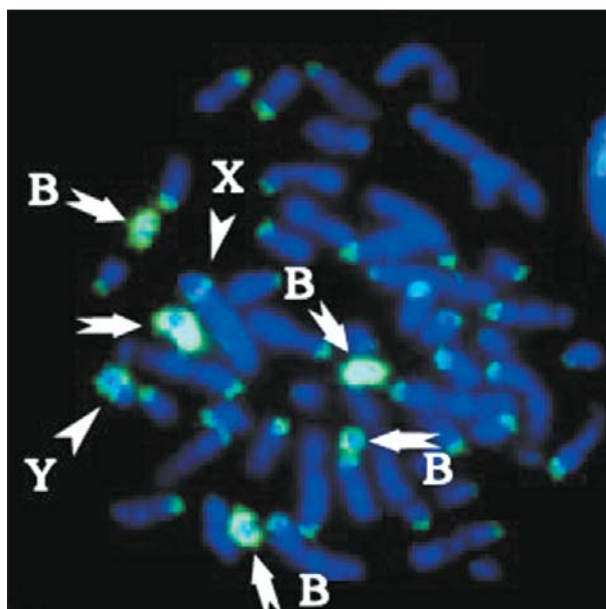
Кроме того, почти все В-хромосомные пробы интенсивно окрашивали прицентромерные области А-аутосом (всех А-хромосом, за исключением половых); и в половых хромосомах — районы плотной упаковки ДНК, которые находились на конце Y-хромосомы и внутри плеча X-хромосомы и содержа-

ли большое количество повторных последовательностей ДНК. В то же время проба, сделанная из ДНК центромерных районов А-хромосом, окрашивала прицентромерные районы крупных В-хромосом, почти целиком мелкие В-хромосомы и те же самые районы на половых хромосомах, которые окрашивались пробами, сделанными из В-хромосом. Это означает, что в прицентромерных районах В-хромосом имеются повторы, родственные последовательностям, находящимся в прицентромерных районах аутосом и в плотных блоках на половых хромосомах.

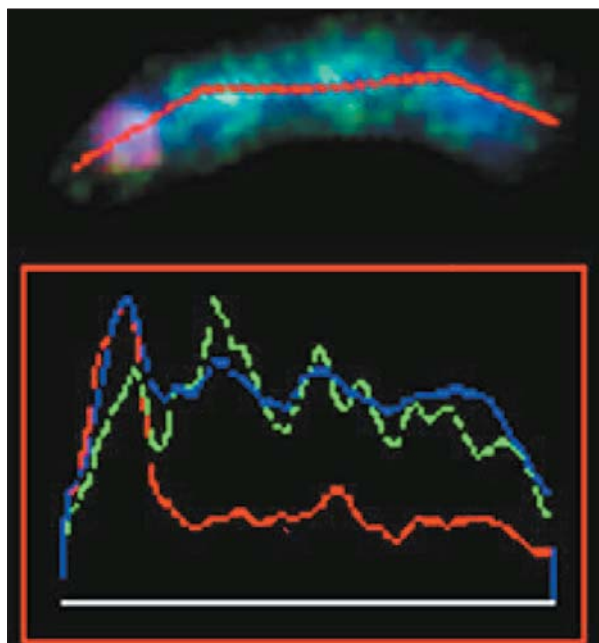
Но этим родство между А- и В-хромосомами не ограничивается. Когда на препарат наносили пробы В-хромосом, цветную метку обнаруживали не только в прицентромерных районах аутосом, но и на их плечах, хотя в А-хромосомах они окрашивались во много раз слабее, чем в В-хромосомах. Особенно показательными оказались эксперименты с пробой, которые содержали ДНК плеч хромосомы В2: они сильно окрашивали плечи этой и других В-хромосом и очень слабо — плечи аутосом, в то время как центромерные районы А- и В-хромосом оставались неокрашенными. Значит, в плечах А-хромосом в небольшом количестве содержатся повторы ДНК, составляющие основную массу ДНК плеч В-хромосом.

Кстати, использование таких специфических проб позволило выявить одну интересную особенность строения В-хромосом. Оказалось, что проба из одного плеча хромосомы одинаково интенсивно окрашивает оба плеча. Такие хромосомы с идентичными плечами называются изохромосомами. Они иногда возникают в результате хромосомных перестроек в раковых клетках, в клетках, культивируемых *in vitro*, но почти никогда не встречаются в норме. Что же касается В-хромосом нашей лесной мыши, то, похо-

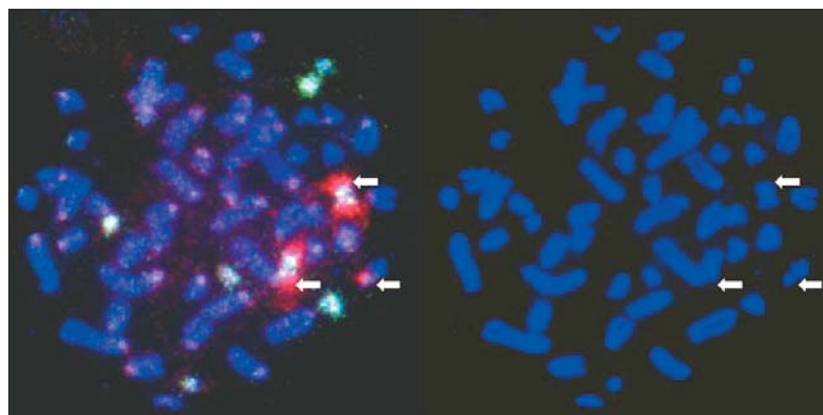
## Окрашивание хромосом лесной мыши пробами В-хромосом.



Проба ДНК, приготовленная из целой хромосомы В2, гибридизовалась с этой хромосомой, но не только с ней. Она также связывалась и с тремя другими В-хромосомами, прицентромерными районами аутосом и плотными районами С-гетерохроматина половых хромосом.

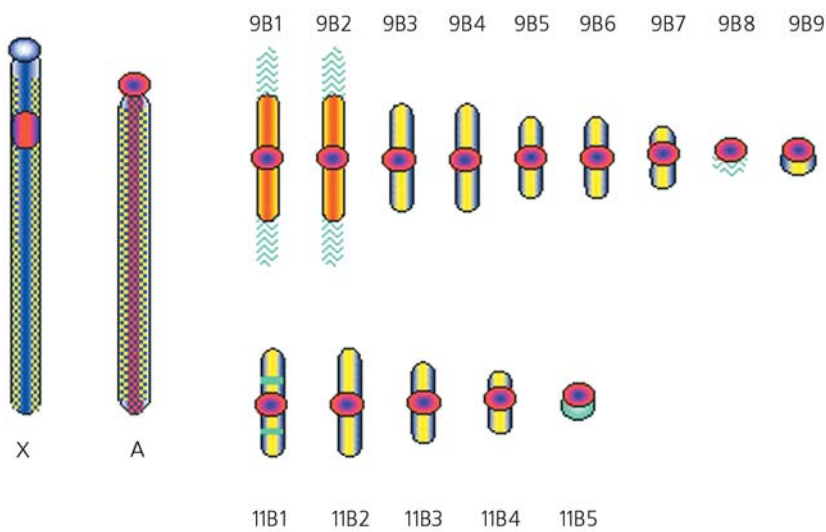


Проба, содержащая ДНК из обоих плеч хромосомы В2, но не включающая ДНК ее прицентромерных районов, окрашивала не только плечи В-хромосом, но и давала слабый сигнал в плечах аутосом, заметный лишь при детальном анализе. Внизу — уровни интенсивности сигналов ДНК-проб из плеч хромосомы В2 и прицентромерных районов аутосом, в разных районах аутосомы. Уровень измерялся в процентах от максимальной интенсивности сигнала, зарегистрированного на хромосоме. Красной линией на хромосоме обозначены точки измерения интенсивности сигнала.

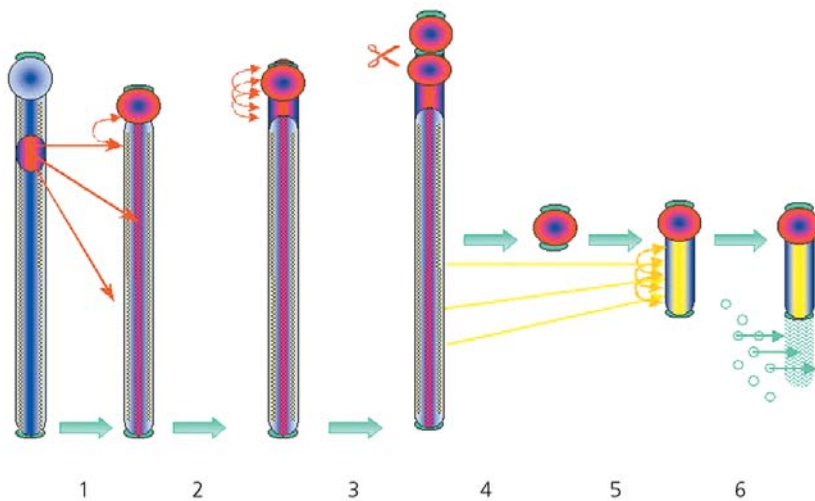


Пробы ДНК, приготовленные из мелких В-хромосом, были мечены красным и зеленым цветами. Одна из них (зеленая) нормально окрашивала тела В-хромосом. Вторая (красная) очень странно окрашивала родную хромосому и концы двух других хромосом. Она выявляла нити ДНК, простиравшиеся далеко за физические концы хромосом. В этом можно убедиться, сравнив В-хромосомы, окрашенные только ДАПИ (справа), и те же хромосомы, окрашенные ДАПИ и ДНК-пробами (стрелки, указывающие на В-хромосомы, находятся в идентичных позициях).





Три типа повторенных последовательностей: прицентромерный (красный), типичный для плеч В-хромосом (желтый) и типичный для концов некоторых В-хромосом (зеленый).



Происхождение и эволюция В-хромосом лесной мыши. Из половых хромосом красный тип повтора переселился на плечи и в центромерные районы аутосом (1). В прицентромерных районах аутосом он нашел подходящую нишу и интенсивно там размножился (2). Рекомбинация множественных повторов привела сначала к удвоению центромера и теломера (3), а затем к их выделению в отдельные В-хромосомы (4). Желтый повтор с А-хромосомы вселился во вновь возникшие В-хромосомы и размножился в них (5). Зеленый повтор, прежде существовавший в виде внехромосомных элементов, заселил концы В-хромосом (6).

же, почти все они — изохромосомы: имели плечи равных размеров, которые симметрично окрашивались любыми пробами. Исключение составляли, может быть, только самые мелкие хромосомы, в которых почти невозможно разглядеть детали морфологии.

Две такие мелкие В-хромосомы преподнесли нам занятный сюрприз. Когда препарат окрашивали ДАПИ — красителем, выявляющим любую ДНК безотносительно к ее последовательности, — они выглядели, как точки. Казалось, что эти хромосомы состоят только из центромера и вовсе не имеют плеч. Однако, когда на препарат нанесли сделанные из них пробы, специфически окрашивающие их ДНК, обнаружили, что одна окрашивает тела хромосом, а другая выявляет красивые нимбы (вообще-то они больше похожи на метелки, но «красивая метла» как-то не звучит, а «нимб» — звучит) вокруг родной хромосомы и около концов еще двух В-хромосом. Причем нимбы распространялись далеко за пределы концов хромосом, которые мы в специальном эксперименте поместили пробами на теломерные последовательности ДНК.

Для того чтобы понять природу нимбов, необходимо сделать небольшой экскурс в проблему упаковки хромосом. Мы уже говорили о том, что хромосомы представляют собой комплексы ДНК с белками и плотность упаковки ДНК зависит от ее функциональной активности. В момент деления клеток активность генов прекращается и ДНК уплотняется. Белки, присоединяясь к определенным последовательностям ДНК, приклеивают ее петли к белкам хромосомного скелета, а затем склеивают образовавшиеся при этом завитки. В таком плотно упакованном виде хромосома легко переносит манипуляции клеточного деления на две равные части и расхождение их к разным полюсам клетки. Мож-

но думать, что ДНК нимбов не содержит последовательностей, необходимых для присоединения упаковочных белков, и остается в расплетенном состоянии, когда вся остальная ДНК уплотняется. В таком виде она легко доступна для гибридизации с ДНК пробы и ярко окрашивается. А поскольку концентрация ДНК и белков хромосомы на единицу площади предметного стекла в районе нимбов ниже, чем в нормально упакованных хромосомах, ДАПИ окрашивает нимбы настолько слабо, что увидеть эту окраску не удается.

Кроме концов некоторых В-хромосом такая проба окрашивала два небольших симметрично расположенных участка в двух плечах одной из В-хромосом. Тогда мы наблюдали не нимб, а интенсивное локальное окрашивание (почему это так, мы обсудим чуть позже). Никаких следов связывания ДНК этой пробы с ДНК А-хромосом мы не обнаружили.

Итак, результаты окрашивания хромосом лесной мыши В-хромосомными пробами показывают, что в геноме этого вида присутствуют по крайней мере три класса повторов:

— один локализован в прицентромерных районах аутосом и В-хромосом, а так же в двух районах половых хромосом;

— другой составляет основную массу плеч В-хромосом, а в А-хромосомах содержится в значительно меньших количествах;

— третий обнаруживается на концах некоторых В-хромосом и ведет себя странно, образуя нимбы (или метелки, если этот образ вам больше нравится).

Все три класса повторов встречаются в В-хромосомах не только у тех животных, из которых получали пробы, но и у других изученных нами лесных мышей *Apodemus peninsulae*. Следовательно, они общие для данного вида, а может, и всего рода *Apodemus*.

Чтобы в этом убедиться, мы гибридизовали наши пробы ДНК *Apodemus peninsulae* с ДНК хромосом полевых мышей родственного вида *Apodemus agrarius*, у которых В-хромосомы встречаются крайне редко. Из тысяч исследованных полевых мышей только у двух нашли В-хромосомы — да и то всего по одной. У той мыши, от которой брали клетки для анализа, В-хромосом не было вовсе. Мы уже знали, что прицентромерные повторы В-хромосом у *Apodemus peninsulae* имеются и в В-, и в А-хромосомах, и поэтому мы ожидали их увидеть и в А-хромосомах *Apodemus agrarius*. К сожалению или к счастью, наши ожидания не оправдались. У этого вида центромерные районы не окрашивались даже в том случае, когда использовали пробу на центромерные районы А-хромосом *Apodemus peninsulae*. И эта проба, и пробы В-хромосом слабо и дисперсно окрашивали только плечи А-хромосом *Apodemus agrarius*. Единственными местами, где мы видели более или менее яркое окрашивание, были плотные блоки на половых хромосомах. Они, как вы помните, ярко окрашивались этими пробами и у *Apodemus peninsulae*.

Поскольку такие блоки есть у обоих видов, можно предположить, что они унаследованы от общего предка, который, как показали специальные исследования, существовал 8–7 млн лет назад. Не в них ли скрывались до поры до времени мобильные паразитические последовательности ДНК, которые потом образовали В-хромосомы *Apodemus peninsulae*?

Попытаемся представить себе, как это было. Из половых хромосом мобильные элементы проникли в аутосомы обоих видов. Для этого им нужно было найти в ДНК хозяина участки, сходные с их собственными последовательностями. У *Apodemus agrarius* такие участки нашлись в плечах аутосом,

а у *Apodemus peninsulae* — в прицентромерных районах. Поскольку эти районы всегда содержат множество повторов, можно думать, что тех, которые имели гомологию с мобильными элементами, было немало. Это сильно облегчило внедрение и последующее размножение паразитических последовательностей. Есть еще одна особенность прицентромерных районов, облегчающая жизнь паразитов. Дело в том, что там, как правило, нет активных генов, и потому внедрение паразитов не нарушает функции генома. Совсем иная ситуация в плечах хромосом, где находятся гены, отвечающие за синтез белков. Внедрение паразита внутрь гена или даже рядом с ним может привести к непоправимым нарушениям жизненно важных функций и к гибели клеток или организмов, в которых такое событие произошло.

Итак, в геноме *Apodemus peninsulae* паразитическим мобильным элементам сильно повезло. Они проникли в прицентромерные последовательности и в ходе своего размножения захватили специфические последовательности хозяйской ДНК — центромерные и теломерные. Это открыло дорогу для возникновения В-хромосом. Ведь что нужно фрагменту ДНК, чтобы стать хромосомой? Иметь центромеру, дабы на равных с нормальными хромосомами участвовать в клеточном делении, и две теломеры, дабы защитить свои концы от разрушения. Некоторые из В-хромосом *Apodemus peninsulae* (самые мелкие) состоят в основном из центромеры с прицентромерными повторами и пары теломер — и очень хорошо себя чувствуют. Это — или самые молодые из В-хромосом, или реликты ранних этапов хромосомной эволюции.

Как только В-хромосомы возникли в такой примитивной форме, они стали «землей обетованной», куда устремились и другие мобильные паразити-

ческие элементы, влачившие до той поры жалкое существование в составе плеч аутосом или за пределами хромосомной ДНК. Последовательности, которые составляют основную массу ДНК плеч В-хромосом *Apodemus peninsulae*, присутствуют в небольших количествах и в плечах аутосом обоих видов мышей. Но там их размножение сдерживается естественным отбором. Иное дело в В-хромосомах — здесь им живется и размножается гораздо вольготнее. У большинства В-хромосом прицентромерные и плечевые последовательности ДНК четко разграничены. Однако в некоторых В-хромосомах (самых старых или самых эволюционно продвинутых?) они оказались перемешанными.

Последними в В-хромосомы пришли концевые повторы, те самые, что образуют метелки. Именно эта способность, а вернее, неспособность плотно упаковываться в момент клеточного деления выдает их экстрахромосомное происхождение. По-видимому, они еще не успели включить в свой состав те последовательности хромосомной ДНК, с которыми связываются белки компактизации. Как вы помните, тот же класс повторов мы обнаружили внутри плеч одной из В-хромосом, где он был нормально упакован. Может быть именно потому он и был упакован, что находился внутри, а не на конце хромосомы. Белки склеивали и соседние с ним районы, и его заодно. А может быть, он попал в середину хромосомы уже давно и успел за счет рекомбинации приобрести последова-

тельности, необходимые для связывания с упаковочными белками.

Таким образом, вполне вероятно, что В-хромосомы, которые мы нашли в геноме лесной мыши, возникли не одновременно. Одни появились раньше, другие позже, да и сами пути их эволюции были разными. Можно ли выяснить, когда это произошло?

До сих пор мы рассматривали только два вида рода *Apodemus*. Но в нем много видов, и В-хромосомы часто встречаются не только у *Apodemus peninsulae*. Они обнаруживаются и во многих (хотя и не во всех) популяциях европейской лесной мыши *Apodemus flavicollis*. Не значит ли это, что оба вида унаследовали В-хромосомы от общего предка? Нет, не значит. Дело в том, что *Apodemus peninsulae* и *Apodemus flavicollis* принадлежат к разным под родам, которые разделились 10–8 млн лет назад. Внутри каждого под рода большинство видов не имеют В-хромосом вообще. Да и популяции *Apodemus peninsulae* и *Apodemus flavicollis* и особи внутри этих популяций очень сильно отличаются друг от друга по числу и форме В-хромосом. Логичнее предположить, что эти виды унаследовали от общего предка не сами В-хромосомы, а способность создавать их *de novo* и толерантность к их присутствию.

Платят ли они за эту свою способность? Насколько дорого им обходится содержание геномных паразитов, и оправдывается ли оно? На эти вопросы пока нет ответа. Видимо, не слишком дорого, если неко-

торые особи имеют до 17 лишних хромосом в каждой клетке. Может быть, это даже выгодно, образно говоря, содержат на хлебников (мобильные элементы) вместе в чуланах (в В-хромосомах), не позволяя им портить обстановку в хозяйских комнатах (А-хромосомах). А может быть, они и не на хлебники, а постояльцы, которые исправно вносят квартплату? Гуляя с места на место по геному, мобильные элементы могут случайно прихватить какой-нибудь полезный ген и потом размножить его в составе В-хромосом. Оказалось, что некоторые В-хромосомы лесной мыши содержат гены, отвечающие за синтез рибосомальной РНК. Это действительно важный и полезный для клетки продукт. Кто знает, какие еще полезные гены уже есть или со временем появятся на В-хромосомах. И может быть, со временем В-хромосомы превратятся в А-хромосомы. ■

**Статья написана по материалам, собранным нами с коллегами из Института цитологии и генетики СО РАН: кандидатом биологических наук Т.В.Карамышевой, кандидатом биологических наук М.Н.Бочкаревым и аспиранткой О.В.Андреенковой, которым мы выражаем нашу искреннюю признательность. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и программы Университеты России. Проекты 99-04-49960, 01-04-48875, 01-04-49534 и 015.07.01.024.**



# Вспоминая молодого Эдварда Теллера

Ласло Тисса

*Массачусетский технологический институт  
Кембридж*

Этими своими воспоминаниями я рад приветствовать Эдварда Теллера по случаю его 90-летия. Я многим ему обязан, без его помощи я, возможно, и не стал бы физиком. Мы познакомились в Будапеште еще в школьные годы, оба став победителями математического конкурса имени Этвеша. Мы любили математику, но очарование недавно открытой квантовой механики оказалось сильней. Следуя пожеланию отца, Эдвард сначала изучал химическую технологию, но, не окончив курса, обратился к теоретической физике.

Я учился в Будапештском университете, выбрав главным предметом математику, а вторым взяв физику. В Будапеште физика — современная физика — тогда еще не проникла в университетское преподавание. К 1927 г. я даже не слышал слова «квант», но когда я попал в Геттинген, квантовой механикой там был пропитан воздух. Я решил взять один из первых курсов Макса Борна по квантовой механике. Поскольку Борн оказался нездоров, его курс фактически вели Вальтер Гайтлер, Лотар Нордхайм и Леон Розенфельд. Курс этот основывался на тогда еще не опубликованной рукописи Борна—Йордана по матричной механике.

Меня очаровало то, что современная математика нашла

применение в реальном мире, и вскоре я переключился на физику. В 1928 г. нельзя было найти лучшего чем Геттинген места, чтобы понять достигнутое за предыдущие волнующие годы. Однако обширные области приложений еще не открылись, и я не был достаточно уверен в себе, чтобы найти тему для самостоятельного исследования. В этот момент с кратким визитом приехал Эдвард и предложил мне перебраться в Лейпциг, где он завершал свою диссертацию под руководством В.Гейзенберга.

Это предложение оказалось на редкость удачным. После того, как спектральные линии атомов были в основном объяснены, полосатые спектры многоатомных молекул давали следующую область для трудных и манящих задач. Они привлекали не очень многих, поскольку требовали знания химии и были не столь величественны, как первые атомные задачи или как более экзотические проблемы, которым предстояло возникнуть несколько лет спустя.

Благодаря своей подготовке в химии Эдвард был подходящим человеком, чтобы выявить такого рода задачи и решать их. Едва я приехал в Лейпциг, как он привлек меня к проблеме, которая его заинтересовала. Стандартный метод определения момента инерции многоатомной молекулы из ее инфракрасного колебательно-вращательного спектра вел к парадоксу: две инфракрасные полосы метана указывали на два совершенно разных момента инерции. Некоторые физики решили, что химики неправы, при-

нимая модель тетраэдра. Эдвард был убежден, что химики знали, что делают, и что, наоборот, метод физиков, связывающий вращательное разделение с моментом инерции, вполне мог страдать переупрощением. Мы потратили семестр, чтобы найти ошибку и исправить ее. Некоторые колебания симметричных молекул вырождены и имеют вращательный характер с угловым моментом, сильно связанным с вращательным угловым моментом. Пренебрежение этой связью вело к парадоксальным моментам инерции. Наши усилия завершились совместной статьей в «Zeitschrift für Physik».

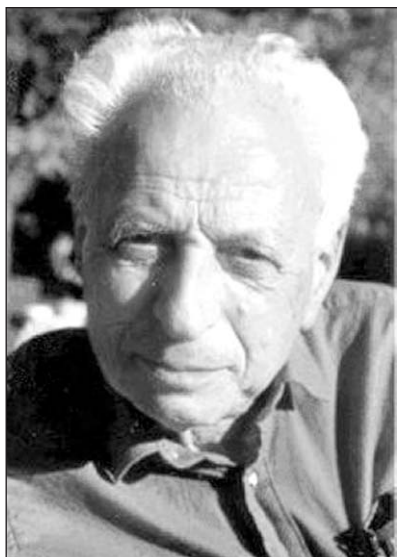
Эта статья, правда, содержала небольшую ошибку, исправленную Эдвардом в обзорной статье, опубликованной в «Hand und Jahrbuch der Chemischen Physik». Львиную долю этой работы действительно сделал он, а для меня это было бесценным обучением.

Следующим моим шагом стало получение докторской степени. И опять Эдвард пришел на помощь с хорошей задачей. Интерпретация спектров симметричных многоатомных молекул выдвигала проблемы, связанные с применением теории групп. А у меня как раз было расположение к этой области математики и некоторое знакомство с ней. «Групповая лихорадка» тогда не была распространена среди физиков, а для меня эта задача была прямо как по заказу и завершилась моей диссертацией и докторской степенью в Будапеште в 1932 г.

Затем, когда я столкнулся с трудностями в поисках работы,

Выступление 1998 г. по случаю 90-летия Э.Теллера. Опубликованная версия: Edward Teller Ninety // Heavy Ion Physics (Acta Physica Hungarica New Series). 1998. V.8. №3. P.179. Перевод Г.Е.Горелика.

© Ласло Тисса



Ласло Тисса.

Эдвард написал в Харьков своему другу Льву Ландау, и тот принял меня в свою группу. С одной стороны, я с симпатией наблюдал за марксистским экспериментом, с другой, группа Ландау тогда становилась одной из самых передовых в теоретической физике. Ландау был необычайным явлением, человеком эпохи Возрождения. Нет области физики, в которой он не оставил бы своего следа. Для меня было особенно значительным, что он относился к термодинамике не как к почтенной древности, в отличие от Макса Борна, на чьих лекциях — блестящих, но односторонних — я с ней и познакомился. Для Ландау термодинамика была живой наукой, вполне интегрированной с его интересами в квантовой физике.

Такая комбинация мне нравилась — я предпочитал концептуальный анализ большим формальным вычислениям. Однако найти подходящую проблему было нелегко, и появилась она благодаря радикальной перемене в сцене действий. В 1937 г. Ландау, последовав приглашению Капицы, переехал в Москву. Политическая атмосфера в СССР стремительно ухудшалась, и я вернулся сначала в Венгрию, а затем нашел место в Париже.

Здесь я встретился с Фрицем Лондоном, который познакомил меня со своей феноменологической теорией сверхпроводимости. В силу этого мы были в надлежащем настроении, чтобы сразу же откликнуться на открытие сверхтекучести жидкого гелия в январе следующего года.

Переоткрытие Лондоном Бозе—Эйнштейновской конденсации подсказало двухжидкостную модель гелия II. Лондон не хотел распространять эту модель на гидродинамику и предоставил мне возможность попытаться что-то здесь сделать. Мне удалось предсказать существование тепловых волн, но теоретическое основание выглядело недостаточно убедительно, и предсказание не приняли настолько серьезно, чтобы предпринять экспериментальную проверку. Ситуация изменилась только после экспериментального подтверждения предсказанного Ландау «второго звука», который, как оказалось, можно возбудить только тепловым способом. Лондон обратил мое внимание на то, что тем самым подтвердился и мой подход. Это было верно только до некоторой степени, поскольку у моей теории были дефекты, которых Ландау избежал. С другой стороны, Ландау полностью отвергал значение Бозе—Эйнштейновской конденсации, которая сейчас считается доказанной.

В 1941 г. я переехал в США и первые несколько недель гостил в доме Эдварда и Мици Теллер, недалеко от Вашингтона. Это очень помогло мне освоиться на новом месте. Мне посчастливилось принять участие в весеннем собрании Американского физического общества, где я познакомился со всеми людьми, имена которых я знал по журналу «Physical Review».

В том же году я получил место в Массачусетском технологическом институте, — это стало поворотным моментом в моей биографии. Ясно видно, что вплоть до этого времени мои контакты с Эдвардом были односторонними, пользу всегда

получал я. Давал ли я ему что-нибудь взамен? Он ставит мне в заслугу то, что я поведал ему о моем отрицательном опыте в Советском Союзе. Для него это стало важным подтверждением интуитивных представлений.

Действия сталинского режима были столь вопиющими, что разглядеть их было не так уж и сложно. Для меня начался самокритический анализ: где же я ошибался в своих юношеских ожиданиях? Политико-исторический анализ советского эксперимента был для меня слишком трудным. Я заподозрил, однако, более тонкую и общую вещь: отрицательную сторону революционных стратегий — даже в современной физике, где их продолжают прославлять. Хотя в советской революции я не видел искупительных преимуществ, а квантовая механика очень успешна, на абстрактном уровне у них есть общая черта. Революция — не самый лучший способ избавиться от устаревших элементов внутри традиции. Квантовая механика так и не переросла свою детскую болезнь, родившись как «Knabenphysik» (мальчишеская физика.— Г.Г.) из революции, которая оставила в беспорядке отношения с классической физикой.

Постепенно я пришел к мысли, как можно исправить ситуацию, однако не рассказывал об этом Эдварду, поскольку наши пути редко пересекались после 1941 г. Некоторые из этих соображений я хочу предложить по случаю его девяностолетия.

В моей вновь обретенной зрелости я вижу необходимость относиться к традиции с уважением, использовать анализ для выявления возможных дефектов и далее устранять их скальпелем, а не топором. Несмотря на свои огромные успехи, квантовая механика имеет «парадоксы», связанные с тем, что новое знание росло без удаления устаревших элементов традиции. Это следовало бы распознать в анализе так называемого крушения классической физики, но такого

анализа никто не проводил из-за отсутствия надлежащих инструментов.

Классическая физика своей красотой обязана тому обстоятельству, что омоложение традиции шло в ходе исторического процесса, как будто под управлением невидимой руки. Управление нарушилось в начале XX в.; великие результаты были получены явно парадоксальным путем. Век спустя все, что нам надо сделать — это показать, что те же самые результаты можно получить, сохраняя рациональную связь с традицией и избегнув парадоксов.

Перечислю несколько «поворотных пунктов», определивших окончательную форму классической физики. Первой стадией пост-ньютоновского развития стала замена квази-евклидовского геометрического языка *Principia* аналитической механикой Лагранжа, Гамильтона и Якоби. Хотя диапазон экспериментального подтверждения остался тем же, эти теории не равны по своей ценности. Я бы сказал, что аналитическая механика является «более адекватным» математическим и концептуальным представлением механики точек, чем первоначальная геометрическая версия. Ньютоновская механика была освобождена от привычной, но объективно неуклюжей геометрической формы, и превратилась в аналитическую версию, которая перестала эволюционировать и заслуживает название «оптимальной». То, что этот формализм обычно именуется «каноническим», свидетельствует, что факт этот достаточно признан. К сожалению, сам термин побуждает расширять полномочия этого формализма и за пределы механики, что ведет к неправомерным обобщениям.

Ведь математическое развитие теории не расширило первоначального ньютоновского физического базиса. В XIX в. в основном пытались объяснить на этой основе явления тепла, света, электричества и магнетизма. Традиционный подход состоял

в том, чтобы трактовать электричество и магнетизм как «силы», по аналогии с ньютоновской гравитацией. Пока рассматривались взаимодействия, такое действие-на-расстоянии никто не опроверг, но Фарадей и другие электрохимики добавили новое измерение к науке об электричестве, показав, что вольтовы токи производят химические реакции.

Странным образом ускользнуло от внимания, что тем самым электрохимики также трансформировали классическую химию. Электролиз нарушил классическую аксиому о постоянстве элементов. За этим последовали спектральный анализ и радиоактивность, что повело к обширной научной деятельности, которая вполне заслуживает специального имени. Я предлагаю назвать ее субатомной химией, или, быть может, микрохимией. Отношение этой дисциплины к классической химии — не революционное замещение одной теории другой. Программа классической теории — а именно, установление структурных формул и заполнение периодической системы — оставалась по-прежнему в повестке дня, и химики безо всяких трудностей использовали две разные парадигмы.

Максвел сумел математически сформулировать фарадеевскую концепцию электромагнитного поля.

К 1900 г. классическая теория состояла из трех главных частей: механика точки, электродинамика и химическая термодинамика, но так называемое крушение классической физики относится только к неспособности механики точки описать микрофизику. Подчеркнем, что, вводя свою константу действия, М.Планк использовал совместно все три классические теории, с особым упором на химическую термодинамику.

Впоследствии Планк и Эйнштейн участвовали в пространной дискуссии относительно квантовой структуры излучения. Эйнштейн был прав в том, что ка-



Эдвард Теллер.

салось зернистости поля излучения, а Планк был прав, возражая этой интерпретации в терминах ньютоновских механических частиц. И ни один из них не думал о разрешении спора в терминах частиц субатомной химии.

Такое нежелание, конечно, шло от векового убеждения, что химия — это эмпирическая, макроскопическая дисциплина, которая должна получить точное обоснование в готовом виде из физики и при этом никогда не забывать об астрономическом происхождении последней. Экспериментальная ситуация в субатомной химии побуждает пересмотреть это предубеждение. В новой области знаний физика и химия слились. Цель измерения здесь — химический качественный анализ. Мы хотим узнать, какова природа материала, с которым мы имеем дело. При этом роль химических реагентов выполняют физические измерения, в основном измерения длины волны или импульса, которые дают беспрецедентную точность. И все же нельзя считать гарантированной возможность математизации в рождающейся области естествознания. Само это сотрудничество — вечная загадка, и мало кто пытался ее разга-



дать. Ю.Вигнер, с его исключительным владением и физикой, и математикой, предпринял попытку такого рода в знаменитой статье, но выводы его обескураживают. Название статьи «Непостижимая эффективность математики в естественных науках» стало поговоркой, отбивающей охоту найти более удовлетворительную разгадку.

Лично я сомневаюсь, что намерение Вигнера было таким.

Эпиграфом к своей статье он взял высказывание Ч.Пирса: «Вполне вероятно, что здесь есть некий секрет, который еще предстоит открыть». По-моему, этот секрет — методологический трюизм: установить соотношение языков математики и эксперимента невозможно на любом из этих двух языков, — надо использовать язык метатеории, или метаязык. Мои размышления по поводу такой метатео-

рии и парадоксов субатомной химии см. в [1, 2].

Поскольку эта статья — подарок ко дню рождения, закончу на личной ноте. Эдвард когда-то говаривал, что мы с ним оба любили математику, женились на химии, но бросили обеих ради физики. Я дарю ему представление о концептуальной основе теории, в которой все три области гармонично соединены. ■

## Литература

1. *Tisza Laszlo*. The Reasonable Effectiveness of Mathematics in the natural science, in *Experimental Metaphysics / Boston Studies in the Philosophy of Science*. V.193. 1997. P.213—238.
2. *Tisza Laszlo*. End of Century Reflections on Planck's Quantum Theory and Philosophy. Paper presented at a joint meeting of the German Physical Society and the Max Planck Institute for the History of Science October 13, 1997.

## От переводчика

Когда в 1992 г. я познакомился с Ласло Тиссой, мне было известно, что в середине 30-х годов он был рядом с Л.Д.Ландау в харьковском Физико-техническом институте. И только. Беседовали мы с профессором Тиссой в его кабинете в MIT, за окном был благополучный Бостон, а у нас речь шла о советской чуме 37-го. Тисса еще помнил русский язык, приобретенный им во время его аспирантуры у Ландау, и даже некоторые тогдашние советские лозунги. Однако ничего сенсационно нового о том времени Тисса мне не сообщил. И в самом его облике и в манерах не было ничего сенсационного — тихий, интеллигентный профессор. В конце беседы он что-то сказал о своих научных интересах, я промямлил нечто вежливое в ответ, а про себя подумал, что 85 лет — не лучший возраст, чтобы двигать науку. Только спустя несколько лет я убедился, что смотрел на профессора Тиссу зашоренными глазами и что проглядел сразу две сенсации.

Во-первых, оказалось, что и в 85 лет можно сильно и оригинально размышлять о теоретической физике микромира, — извлекая урок из истории химии, в которой Джон Дальтон впервые нашел естественнонаучные основания атомизма, задолго до физиков.

Во-вторых, оказалось, что тихий и поглощенный наукой теоретик Ласло Тисса нечаянно сыграл заметную роль в мировой истории. Об этой роли лучше всего рассказать словами его друга — совсем не тихого «отца водородной бомбы» и непреклонного врага советской власти Эдварда Теллера:

«Вторую мою опубликованную работу в физике я сделал совместно с моим хорошим другом Л.Тиссой. Вскоре после нашего сотрудничества в Лейпциге он был арестован венгерским фашистским правительством как коммунист. Он потерял возможность найти работу в науке, и я порекомендовал его моему другу Льву Ландау в Харькове. Несколько лет спустя Тисса посетил меня в США. У него больше не было никаких симпатий к коммунизму. Лев Ландау был арестован в СССР как капиталистический шпион! Для меня значение этого события было даже больше чем пакт между Гитлером и Сталиным. К 1940 г. у меня были все причины не любить и не доверять СССР»<sup>1</sup>.

Надо знать Ласло Тиссу, чтобы понимать, насколько он надежный свидетель. Математически точный и поглощенный наукой. Соединяющий уважение к гениальным коллегам прошлого с ясным критическим отношением к их заблуждениям.

У Теллера были основания доверять такому свидетелю и другу. И то, что другой его социалистический друг, физик мирового класса Лев Ландау, арестован, а первоклассный научный институт — УФТИ — разгромлен без каких-либо понятных причин, сказала физики Теллеру о Советском режиме больше, чем известные международные политические явления. Он пришел к выводу, что «сталинский коммунизм не намного лучше, чем нацистская диктатура Гитлера»<sup>2</sup>.

© Г.Е.Горелик

<sup>1</sup> *Teller Edward*. Science and Morality // *Science*. 22 May 1998. P.1200—1201.

<sup>2</sup> *Teller Edward*. The History of the American Hydrogen Bomb // *The International Symposium: «History of the Soviet Atomic Project»*. Dubna, May 14—18, 1996.

# Азиатские муссоны и глобальный климат

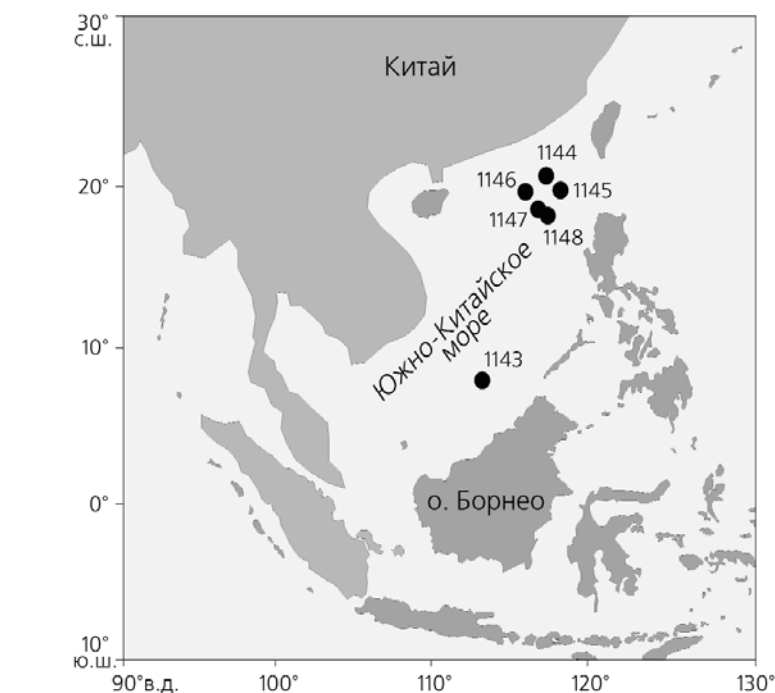
## (184-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)

И.А.Басов,

доктор геолого-минералогических наук

Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН  
Москва

Летние и зимние муссоны Юго-Восточной Азии — важный компонент регионального и глобального климата. Их интенсивность в разные геологические эпохи была связана с развитием Гималайско-Тибетской горной системы, формированием и исчезновением окраинных морей, а также колебаниями в глобальной атмосферной циркуляции. Контролируя в значительной степени сезонные изменения ветра, атмосферных осадков (соответственно интенсивности эрозионных процессов на суше) и характер растительности в пределах обширной территории Юго-Восточной Азии, муссоны оказывают также большое влияние на осадконакопление в океане, и в первую очередь в окраинных морях. Изучая осадочные разрезы в таких бассейнах, можно восстановить многие аспекты климатической эволюции в региональном и планетарном масштабах. В этом отношении Южно-Китайское море — исключительно благоприятный объект, оно расположено между материком и крупным островным архипелагом в зоне непосредственного влияния азиатских летних и зимних муссонов и характеризуется, как показало изучение колонок по-



Положение скважин, пробуренных в 184-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн» Программы океанского бурения (залитые кружочки с номерами).

верхностных осадков, высокими скоростями осадконакопления. Последнее обстоятельство дает возможность в деталях реконструировать океанологические и климатические колебания прошлых геологических эпох.

Не случайно, что именно это море было выбрано в качестве

объекта изучения в 184-м рейсе судна «ДЖОИДЕС Резолюшн» Программы глубоководного бурения, который состоялся в феврале—апреле 1999 г. Рейс проводился под руководством П.Ванга из Отдела морской геологии и геофизики Университета Тонгжи в Шанхае (КНР), У.Л.Прелла из Отдела геологиче-

ских наук Университета Брауна (США) и П.Блама, представлявшего Программу глубоководного бурения [1].

Бурение велось в самой северной (приблизительно между 19 и 20°с.ш.) и центральной (около 9°с.ш.) частях Южно-Китайского моря. Выбор районов диктовался необходимостью сравнить характер климатических изменений в разных частях бассейна и таким образом получить более полную картину эволюции муссонов во времени.

В рейсе предстояло: во-первых, изучить кайнозойскую историю развития Южно-Китайского моря, включая ее биостратиграфический, литологический, хронологический, палеоклиматический и палеокеанологический аспекты; во-вторых, реконструировать общую эволюцию и разномасштабные вариации в системе муссонов Юго-Восточной Азии; в-третьих, выяснить связи между горообразующими и эрозионными процессами в Гималайско-Тибетской горной системе и изме-

нениями в характере осадконакопления в Южно-Китайском море в зависимости от интенсивности муссонов в кайнозойское время.

Бурение велось в шести точках, из которых пять расположены в северной части моря в интервале глубин 2036—3245 м (скв. 1144—1148) и одна (скв. 1143) — в центральной части на глубине 3292 м. Наибольшая глубина проникновения в осадки была достигнута в скважинах 1146 и 1148 (соответственно 607 и 853.2 м); скважина 1143 вскрыла разрез мощностью 500 м. В общей сложности получено почти 5.5 км керна, выход которого в среднем составил 94.8%. Наиболее древние (около 30 млн лет) осадки были пробурены скважиной 1148.

Предварительный анализ материалов показал, что полученные практически непрерывные разрезы осадков дают уникальную возможность для изучения мелкомасштабных климатических колебаний. Во всех скважинах осадки содержат в значительном количестве ос-

татки карбонатных организмов, что позволяет применить биостратиграфический метод для их расчленения и изотопный — для реконструкции климатических осцилляций кайнозойского времени. В разрезах отмечены циклические вариации в цвете осадков и их физических свойствах (магнитной восприимчивости), которые, по мнению участников рейса, отражают цикличность в изменениях орбитальных характеристик Земли в геологическом прошлом. Разрез скважины 1148 соответствует по времени накопления последним 32 млн лет. Как показывают расчеты, скорости осадконакопления в данном бассейне на протяжении всего этого времени были высокими, что обеспечивает детальное стратиграфическое расчленение разреза. Таким образом, можно быть уверенным, что после всестороннего изучения материалов рейса многие аспекты кайнозойской истории этого региона, включая эволюцию системы азиатских муссонов, станут более понятны. ■

## Литература

1. Wang P., Prell W.J., Blum P. et al. // Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. 2000. V.184.

### Озеро Чад исчезает

Бессточное оз.Чад (Центральная Африка), основной источник воды для Камеруна, Нигера, Нигерии и Чада, сжимается как шагреновая кожа. Площадь озера всегда значительно изменялась из-за крайне малых глубин (4—11 м): в 1960-е годы она колебалась от 25 тыс. км<sup>2</sup> в сезон дождей до 10 тыс. км<sup>2</sup> в засуху. В настоящее время она едва достигает 1350 км<sup>2</sup>.

Специалисты Висконсинского университета (США), изучив снимки со спутников и климатические характеристики прилегающего к озеру региона, пришли к выводу, что основная причина сокращения озерной глади — нарастающее опустынивание прилегающих к Сахелю земель. В последние десятилетия уменьшилось количество осадков, увеличились посевные площади сельскохозяйственных культур, к тому же

много воды было использовано для ирригации (вклад этого фактора в 1966—1975 гг. не превышал 5%, а в 1983—1994 гг. возрос до 50%). Значительно сокращает пополнение водоема и снабжение г.Нджамены (столицы Республики Чад) водой из впадающей в озеро р.Шари и ее притока Логоне.

Sciences et Avenir. 2001. №650. P.43 (Франция).



# Наше семейное древо снова ветвится

Г.М.Виноградов,  
кандидат биологических наук  
Москва

История палеоантропологии началась с 1891 г. Тогда Е.Дюбуа нашел на Яве ископаемые остатки первого обезьяночеловека — питекантропа — и не сомневался, что столь необычное существо надо выделить в отдельный род. С той поры благодаря интенсивным поискам число родов древних людей стремительно росло, появились синантроп, плезантроп, мегантроп, телантроп, парантроп, зинджантроп и т.д. Однако, когда ископаемого материала накопилось довольно много, выяснилось, что неповторимость первых находок была сильно преувеличена, и последующие ревизии сильно убавили разнообразие гоминид. Многочисленные роды ископаемых людей были сведены к современному роду *Homo*, в котором, кроме вида *Homo sapiens* с его вымершим неандертальским подвидом, оказались (по наиболее жестким вариантам системы) только *Homo erectus* (включивший питекантропа, синантропа и некоторых других) и *Homo habilis* из центральноафриканского Олдувэйского ущелья, живший около 2 млн лет назад и получивший почетный титул первого *Homo*. Всех австралопитеков тоже отнесли было к единственному виду *Australo-*

*pithecus africanus* (туда же «разжаловали» парантропов и некоторых других «антропов»), впрочем, видовой статус почти сразу вернули «мощным» формам — *Arobustus*.

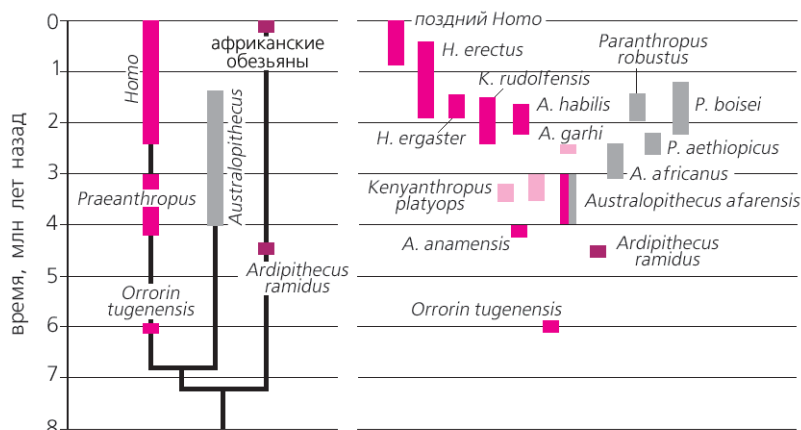
В 1974 г. Д.Джохансон обнаружил в Хадаре (Эфиопия) остатки австралопитека *A.afarensis* (знаменитую Люси), жившего более 3 млн лет назад и оказавшегося примитивнее, чем *A.africanus*. В 1995 г. на берегу оз.Туркан (прежде — оз.Рудольф, Кения) группой М.Лики был найден *A.anamensis*, возраст которого оценили примерно в 4 млн лет [1]. После этого родословное древо человека стало выглядеть, как прямой ствол: *A.anamensis*→*A.afarensis*→*A.africanus* (возможно, с боковой ветвью, ведущей к *Arobustus* и окончившейся тупиком около 2 млн лет назад)→*Homo habilis*→*H.erectus*→*H.sapiens neanderthalensis* и *H.s.sapiens*.

Одновременно с находками новых видов «восстанавливались в правах» некоторые старые. К основному стволу были добавлены *H.ergaster* перед *H.erectus*, а после него — давно известный *H.heidelbergensis*, видовой статус которого не всеми признавался. «Робустных» австралопитеков (теперь уже несколько видов) с их большими мощными специализированными зубами сочли настолько от-

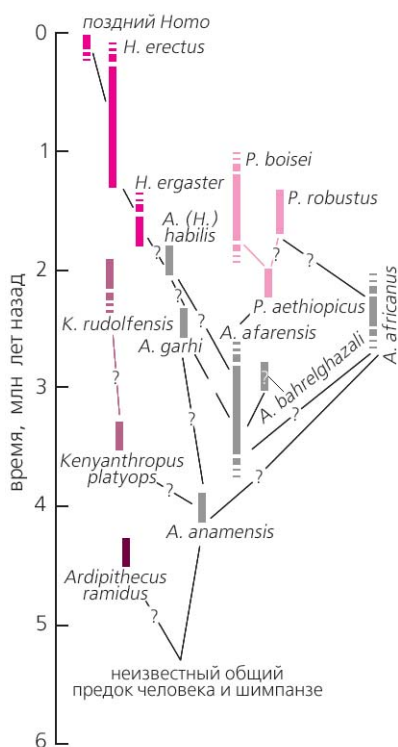
далившимися от классических австралопитеков, что объединили в отмененный прежде отдельный род *Paranthropus*. Неандертальцев же все чаще относили не к подвиду, а к отдельному виду людей «позднего» типа (новейшие исследования развития их черепов в онтогенезе вроде бы это подтверждают [2]). Кроме того, *Homo rudolfensis*, современник *H.habilis*, стал рассматриваться как боковая веточка рода *Homo*. И вдобавок существовал *Ardipithecus ramidus*, живший около 4.4 млн лет назад и отошедший (отошедший ли?) от магистральной линии развития гоминид еще до австралопитеков [3]. И вот эта почти линейная картина шествия гоминид к прогрессу вдребезги разбилась под натиском новых находок.

Сначала были обнаружены фрагменты австралопитеков еще двух видов — *A.garhi* (Эфиопия) [4] и *A.babrelghazali* (Чад) [5], — живших во времена позднего *A.afarensis* и раннего *A.africanus*. В результате выстроить австралопитеков в линию стало решительно невозможно. Но это еще полбеды.

Смена веков ознаменовалась важнейшими находками. Одна из них, поражающая своей древностью, сделана в Кении, на холмах Туджен. Парижские антропологи во главе с М.Пикфордом и Б.Сеню обнаружили здесь су-



Эволюционное древо, построенное Б.Сеню и коллегами.



Филогенетическое древо, предложенное Д.Либерманом.

щество, которое описали под именем *Orrorin tugenensis* [6]. У него были мелкие «человеческие» зубы и, судя по строению фрагментов бедренной кости, он неплохо передвигался на двух ногах. Но, что самое главное, — жил он еще в миоцене, около 6 млн лет назад, т.е. вблизи того рубежа (6.5–5.5 млн лет назад), когда, по данным молекулярной биологии, разошлись эволюционные ветви, ведущие к людям и шимпанзе [7]. Французы сочли мелкозубость и прямохождение оррорина важнейшими признаками и предложили свою схему филогенетического древа гоминид, которое у самого основания разделяется на два ствола. Люди, по этой схеме, выводятся от оррорина через вновь сконструированный род *Praeanthropus*, куда перемещаются наиболее древние виды австралопитеков — *A.anamensis* и некоторые ископаемые, «приписываемые ныне к *A.afarensis*». Все остальные австралопитеки, включая собственно афарского и африканского, с их более мощными зубами считаются тупиковой ветвью, заканчивающейся парантропами. Упомянутый уже *Ardipithecus ramidus*, по этой схеме, вообще числится в предках человекообразных обезьян. Однако многие палеоантропологи полагают, что французы преувеличивают отличия в способности разных австралопитеков к прямохожде-

нию и недостаточно учитывают некоторые факторы, могущие повлиять на форму зубов [8].

Вторая находка вновь сделана группой М.Лики в местечке Ломекви на берегах оз.Туркан (его окрестности уже являли миру *A.anamensis*) при раскопках 1998–1999 гг. О такой находке можно было только мечтать: хорошо сохранившийся небольшой череп лежал в датируемой 3.5 млн лет вулканической породе. Мелкие коренные зубы и плоское лицо существа, а также ряд других признаков не позволяли отнести его ни к австралопитекам, ни к ранним *Homo*. Необходимо было или сильно изменять устоявшиеся родовые диагнозы, или учредить новый род. Лики выбрала второй путь и описала находку под именем *Kenyanthropus platyops* (плосколицый кениец) [9]. Сходное сочетание признаков имелось и у ранее известного (и не вполне понятного) *H.rudolfensis* (2 млн лет назад), так что его тоже причислили к кениантропам в качестве второго, более молодого вида этого же рода.

Появление кениантропов, живших одновременно с большинством австралопитеков, окончательно перепутало средние ветви филогенетического древа гоминид, но Лики с соавторами почти не говорят об этом. Зато Д.Либерман из Университета им.Дж.Вашингтона (США) предлагает схему, по ко-

торой кениантропы оказываются лишь боковой тупиковой ветвью эволюции человека, а главная линия каким-то образом проходит через австралопитеков [10]. Интересно, что и Либерман, и французские палеоантропологи отодвигают *A.africanus* в сторону от главной линии развития. *K.rudolfiensis*, который, по французской трактовке, должен бы находиться на основном стволе, теперь перемещается в конец тупика. Больше всего не повезло от этих перетрясок *Homo habilis*: его склонны считать не первым человеком, а последним австралопитеком [8, 10], не покушаясь, правда, на его важнейшую роль в основном стволе эволюции.

И наконец, третья находка. Снова Эфиопия, снова Афар. Американские исследователи обнаружили в долине Аваш остатки ардипитекуса миоце-

нового времени (5.8—5.2 млн лет назад). Они весьма походили на известного ранее *Aramidus* (4.4 млн лет назад), но все же имелись и заметные отличия. В конце концов кости были описаны как подвид *Ardipithecus ramidus kadabba* [11] («кадабба» на афарском языке значит «основатель рода»). И.Хайле-Селассие из Университета штата Калифорния в Беркли (США), автор нового подвида, полагает, что некоторые черты зубов кадаббы — гоминидные, а значит, место ардипитекам — в предках гоминид, а вовсе не человекообразных обезьян, как решили парижские палеоантропологи. «Французского» же оррорина Хайле-Селассие как раз и передвигает в основание обезьяньей линии... Интересно, что, по данным американцев, *A.r.kadabba* (как и *O.tugenensis*) жил в лесис-

той местности [12], так что на ранних этапах эволюции гоминид великие африканские саванны еще не играли той роли, которую сыграют потом, во времена австралопитеков.

Последние находки еще слишком свежи, чтобы успел сформироваться единый взгляд на новую картину развития гоминид. Но при всей несхожести и противоречивости трактовок ясно одно: прежней линейной картине развития более не быть, у нашего эволюционного древа были многочисленные — вполне крепкие и длинные — боковые ветви. И в течение миллионов лет разные группы гоминид одновременно двигались в сторону очеловечивания. Одной из них суждено было выйти в «люди», другим — исчезнуть. Великая драма разыгрывалась тогда на равнинах Африки. ■

## Литература

1. Leakey M.G. et al. // Nature. 1995. V.376. №6541. P.565—571; см. также: Бутовская МЛ. Эволюция человека и его социальной структуры // Природа. 1998. №9. С.87—99.
2. Ponce Leon M.S. de, Zollikofer C.P.E. // Nature. 2001. V.412. P.534—538.
3. White T., Suwa G., Asfaw B. // Nature. 1994. V.371. P.306—312.
4. Asfaw B. et al. // Science. 1999. V.284. P.629—635.
5. Brunet M. et al. // Nature. 1995. V.378. P.273—275.
6. Senut B. et al. // C.R. Acad. Sci., Paris. Ser. IIa. 2001. V.332. P.137—134.
7. Ruvolo M. // Mol. Biol. Evol. 1997. V.14. P. 248—265.
8. Aiello L.C., Collard M. // Nature. 2001. V.410. P.526—527.
9. Leakey M. et al. // Nature. 2001. V.410. P.433—440.
10. Liberman D.E. // Nature. 2001. V.410. P.419—420.
11. Haile-Selassie Y. // Nature. 2001. V.412. P.178—181.
12. Wolde-Gabriel G. et al // Nature. 2001. V.412. P.175—178.

На северо-западе Китая обнаружен неизвестный ранее 500-километровый участок Великой Китайской стены, представляющий собой следы земляных валов, протянувшихся от Цзяюйгуаня (провинция Ганьсу) до пустыни Лобнор (Синьцзян). Уже сейчас ясно, что здесь Стена не заканчивалась: руины сторожевых вышек открыты недалеко от современной северо-западной границы Китая. Ныне протяженность этого грандиозного ансамбля стеновых

сооружений, построенных в разные эпохи, оценивается в 7200 км. Sciences et Avenir. 2001. №650. P.36 (Франция).

5 декабря 2000 г. американские гляциологи отметили, что скорость движения ледника Колумбия, расположенного на юго-востоке Аляски и сползающего в залив Принца Уильяма по горной долине Чугач (60°30'с.ш., 147°з.д.), возросла до 34 м/сут. По мнению

Т.Пфедфера (T.Pfeffer; Университет штата Колорадо, Боулдер), в скором будущем это может привести к тому, что ледник отступит от верховья на 25 км, а затем либо отколет от материка и станет айсбергом, либо значительно уменьшится по толщине в низовье долины. Согласно последним измерениям гляциологов, длина ледника 54 км, ширина 5 км, а толщина местами достигает 1000 м. Geotimes. 2001. V.46. №1. P.23 (США).



# Новости науки

## Астрономия

### Созвездия во времена древних минойцев

В течение двух последних десятилетий XX в. на страницах научных и научно-популярных изданий много раз обсуждался вопрос о древности европейской традиции деления неба на созвездия. Убедительно показано, что основой первого известного описания основных созвездий неба, созданного Аратом из Сикиона (271—213 гг. до н.э.)<sup>1</sup>, был источник, датируемый приблизительно 2000 г. до н.э. и принадлежавший, вероятно, минойской культуре<sup>2</sup>.

В 2000 г. на симпозиуме «Астрономия древних цивилизаций» П.Бломберг (Упсальский университет, Швеция) впервые представил версию карты минойских созвездий<sup>3</sup>. Это результат коллективной работы, проведенной на о.Крит группой специалистов из Упсальского университета. Согласно их толкованию, керамические статуэтки, найденные на восточном берегу Крита, в древних святилищах Петсофасе и Траостале, которые относятся к периоду расцвета минойской культуры, представляют собой скульптурные символы характерных звездных фигур.

Статуэтки изображают животных и людей, а также их отдельные фрагменты, причем это не обломки, а специально изготовленные части тела, — как правило, ру-

<sup>1</sup> Арат. Явления. М., 1992.

<sup>2</sup> Житомирский С.В. «Явления» Арата: Датировка и анализ первоисточника // Дракон и Зодиак. М., 1997. С.51—69; *Rov AE*. The Origin of the Constellations // *Vistas in Astronomy*. 1984. V.27. P.171—197.

<sup>3</sup> Blomberg P.E. An Attempt to Reconstruct the Minoan Star Map // *JENAM-2000: Associated Symposium Astronomy of Ancient Civilizations*. М., 2000. P.12.

ки и ноги с отверстиями для подвески. Такая фигурка могла быть использована с целью моделирования вида неба, как описано у Арата:

...Все, что при Раке еще заходить начинали, и с ними Одновременно Орел. Уже Океаном волнистым Весь, **кроме правой стопы**, поглощен Преклонивший колена.

Сопоставление текстов «Явлений» с видами найденных фигурок позволило отождествить 24 созвездия Арата, которые уже выделялись минойцами. Сами фигурки использовались в навигации и в качестве указателей звездных часов. По мнению исследователей, среди находок, воспринятых ими как небесные символы, нет ни одной, противоречащей гипотезе.

Значения некоторых фигурок могут быть истолкованы совершенно непосредственно: *Близнецы* — Близнецы; *Сидящая женщина* — Кассиопея; *Алтарь* — Алтарь; *Птица с развернутыми крыльями* — Лебедь. Символические изображения других созвездий были, по-видимому, впоследствии изменены греками: так, *Вол* превратился в Большую Медведицу (становится понятно, почему Медведиц пасет Волопас), *Черепашка* — в Лиру; *Топор* — в Ориона; *Половинка кого-то (?)* — в Андромеду (?). На основе такого рода отождествлений и была предпринята, на наш взгляд, очень интересная попытка восстановить минойскую традицию деления звездного неба.

В итоге Бломберг приходит к выводу, что современная европейская космография — это на-

следие минойской культуры, испытавшее влияние Египта и Месопотамии.

© А.В.Кузьмин,  
кандидат физико-математических наук  
Москва

## Космические исследования. Геофизика

### Новая система исследования земной магнитосферы

Европейское космическое агентство в конце 2000 г. успешно запустило на околоземные орбиты четыре идентичных спутника — «Salsa», «Samba», «Rumba» и «Tango», которые образуют единую систему «Cluster», предназначенную для изучения в космосе магнитного поля Земли и его взаимодействия с процессами на Солнце. Руководит проектом Ф.Эскубе (Ph.Escouber; Европейский центр космических исследований и техники в Нордвейкс-ам-Зее, Нидерланды).

На борту этих спутников установлено по 11 приборов, которые позволяют составлять трехмерные карты магнитного поля и плазменной оболочки нашей планеты<sup>1</sup>. Под руководством геофизика А.Балога (A.Balogh; Лондонский имперский колледж) проводятся эксперименты с использованием магнитометров, регистрирующих интенсивность и направленность силовых линий магнитного поля Земли. Передача информации началась сразу, как только спутники пересекли магнитопаузу — внешнюю границу

<sup>1</sup> См. также: Цветков Ю.Л., Ротанова Н.М. Дистанционное сканирование земной коры // *Природа*. 2001. №11. С.11—17.

магнитосферы, которая служит щитом, отражающим потоки высокоэнергетических частиц. Вне этой границы начинает преобладать магнитное поле Солнца.

Момент вхождения спутников системы «Cluster» в данную область случайно совпал с интенсивной бурей на Солнце, что позволило провести наблюдения за скоплением солнечных заряженных частиц, принесенных сюда мощным полем светила. Их давление сжало магнитосферу Земли примерно вдвое против ее обычной величины. Подобные детальные измерения осуществлены впервые.

В январе 2001 г. спутники подробно исследовали так называемый касп — воронкообразный пробел в магнитосфере, через который заряженные солнечные частицы проникают в земную атмосферу. До сих пор считалось, что полярные каспы относительно стабильны. Но приборы спутников зафиксировали их перемещения.

Благодаря системе «Cluster» обнаружено, что магнитопауза, рассматривавшаяся ранее как гладкая пограничная поверхность, на самом деле испещрена «морщинами» и колышется, подобно морским волнам под сильным ветром. Эта «рябь» простирается в сторону от Солнца приблизительно на 1 тыс. км. Такое первое наблюдательное доказательство существования магнитопаузных волн получено под руководством Н.Корнильо-Верлен (N.Cornilleau-Wehrlin; Центр по изучению космических окрестностей Земли и планет, Везели, Франция).

Science. 2001. V.291. №5508. P.1466 (США).

### Космические исследования. Техника

#### Предстоящая «кончина» ценного спутника

В 1991 г. в США был выведен на околоземную орбиту искусственный спутник «UARS» («Upper Atmosphere Research Satellite»), предназначенный для изучения верхних слоев атмосферы. На его борту было установлено 10 раз-

личных приборов, регистрировавших водяные пары, частицы солнечного излучения, озонразрушающие вещества и др. Срок работы спутника был рассчитан на три года, но пять приборов продолжали успешно работать еще и в августе—сентябре 2001 г.

Первоначально предполагалось, что данный ИСЗ завершит свою миссию осенью 2001 г., когда Европейское космическое агентство запустит ему на смену «Envisat» («Environmental Satellite»), предназначенный для изучения природной среды. В значительной мере он продолжал бы деятельность «UARS», что хотя бы частично позволило сохранить непрерывность ряда данных. Однако запуск был отложен в связи с неисправностью ракеты-носителя «Arian».

Теперь НАСА объявило, что «UARS» в ближайшее время будет ликвидирован как выработавший свой срок и не подлежащий дальнейшему финансированию. Это вызвало глубокие сожаления климатологов, специалистов по физике и химии атмосферы, в том числе лауреата Нобелевской премии по химии П.Крутцена (P.Crutzen; Химический институт им.Макса Планка, Майнц, Германия).

Перед НАСА стоит нелегкая техническая задача: как, соблюдая безопасность, избавиться от семитонного объекта, обломки которого при вхождении в нижние слои атмосферы будут иметь размеры крупного автобуса. Большинство массивных спутников, в том числе российский «Мир», сконструированы так, что их можно направить к месту падения в Тихом океане. Но «UARS» создавался в то время, когда считалось, что в ближнем космосе будет постоянно патрулировать челнок «Шаттл», способный снять отработавший свое объект с орбиты и доставить его на Землю. Ныне же все челноки заняты на строительстве Международной космической станции, и оторвать их от этой задачи весьма сложно, не говоря уж о том, что подобная миссия обойдется в 50 млн долл.

Если же предоставить «UARS» самому себе, он пролетает еще около 20 лет и медленное снижение его орбиты увеличит вероятность падения на Землю крупных обломков, содержащих токсичные батареи и горючее.

Решением этих проблем занят коллектив Центра космических исследований им.Годдарда в Гринбелте, руководимый П.Ондрусом (P.Ondrus).  
Science. 2001. V.293. №5531. P.775 (США).

### Планетология

#### Еще один вулкан на Ио

Обработывая данные, полученные 6 августа 2001 г. во время пролета космического аппарата «Галилео» мимо спутника Юпитера — Ио, исследователи надеялись в подробностях запечатлеть извержение вулкана Тваштар, расположенного вблизи северного полюса спутника. Последний раз извержение Тваштара наблюдали в январе 2001 г. и ожидали, что в августе он может снова проявить активность. Но Тваштар оставался спокоен. Зато на снимках обнаружился другой вулкан, расположенный в 600 км от Тваштара. «Галилео» не только сфотографировал его извержение, но даже пролетел сквозь облако выброшенного им вещества.

А.Мак-Ивен (A.McEwen; Аризонский университет, США) считает, что вулканический выброс поднялся над поверхностью Ио не менее чем на 500 км (треть ее диаметра). Это почти на 10% выше самого высокого из наблюдавшихся там выбросов. Частицы, зафиксированные детектором «Галилео» на высоте 194 км над поверхностью спутника, были выброшены из жерла вулкана всего за несколько минут до пролета аппарата. По видимому, они представляют собой хлопья, состоящие из 15—20 молекул диоксида серы.

Интересно, что вулканическая активность началась в этом регионе Ио внезапно, без каких бы то ни было признаков предыдущих извержений. На ранних снимках эта область выглядит совершенно

спокойной. В течение первых пяти лет работы «Галилео» (он исследует окрестности Юпитера с 1995 г.) вулканическая активность на Ио была сосредоточена в ее экваториальных областях. Событие 6 августа 2001 г. уже третье в ряду мощных извержений в районе северного полюса Ио. Специалисты считают это признаком крупномасштабных изменений, происходящих в недрах спутника.  
[http://www.jpl.nasa.gov/releases/2001/release\\_2001\\_192.html](http://www.jpl.nasa.gov/releases/2001/release_2001_192.html)

## Техника

### Нановесы из углеродных нанотрубок

Изготовлены самые чувствительные и самые маленькие в мире весы!<sup>1</sup>

Масса частицы, находящейся на конце пружины, может быть определена, если измерена частота колебаний и известны характеристики пружины. Так же можно определить и очень малую массу, подсоединив ее к свободному концу углеродной нанотрубки. Ранее авторы этой работы продемонстрировали новый метод измерения механической прочности нанотрубки, который основан на определении отклонения ее кончика (другой конец фиксирован) под действием электростатических сил, вызванных приложением внешнего напряжения. Если же прикладывать к нанотрубке напряжение с измеряемой частотой, то при ее совпадении с собственной частотой колебаний нанотрубки можно добиться резонанса и таким образом точно установить частоту колебаний нанотрубки. Затем подсоединенная масса (даже очень незначительная) может быть определена путем простого вычисления. Нановесы позволяют «взвесить» объект, масса которого равна  $(22 \pm 6) \cdot 10^{-15} \text{ г}$ ! При подсоединении такой массы резонансная частота падает более чем на 40%.

<sup>1</sup> Wang ZL., Poncharal P., Heer W.A. de. // J. Phys. Chem. Solids. 2000. V.61. №7. P.1025–1030.

Авторы считают, что нанотрубные весы могут быть применены для измерения больших биомолекул и других биологических объектов, например вирусов.

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

## Зоология

### Отчего исчезают земноводные

В конце прошлого века зоологи забили тревогу: практически одновременно в разных частях планеты стали стремительно исчезать земноводные, относящиеся к неродственным таксономическим группам и обитающие в самых различных биотопах. Развернулась широкая научная дискуссия: действительно ли мы свидетели уникального явления — глобального исчезновения целого класса позвоночных — или речь идет об удивительном совпадении разрозненных драматических событий. Однако время теоретических рассуждений закончилось, и теперь актуальной стала оценка реальной ситуации и установление конкретных причин их исчезновения.

Любопытное исследование провел большой коллектив ученых из различных институтов и университетов США и Великобритании<sup>1</sup>. По данным со спутников НАСА они проследили за тем, как в период с 1979 по 1998 г. менялся уровень солнечного УФ-облучения девяти районов в Южной Америке и одиннадцати — в Центральной Америке. Причем были выбраны именно те районы, где отмечаются явные признаки исчезновения земноводных (сокращение общего количества и видового состава). Оказалось, что в Центральной Америке в каждом из таких мест уровень УФ-облучения существенно повысился; аналогичная картина, правда менее выраженная, отмечена в пяти районах Южной Аме-

рики. При этом в обоих регионах число дней с максимальным уровнем УФ-облучения возросло в среднем за год с менее 40 до 58. Интересно, что усиленное облучение Центральной Америки совпадает с более высокими темпами исчезновения земноводных именно в этом регионе.

Таким образом, обнаруженная американскими и английскими исследователями закономерность подтвердила существовавшие предположения, что истощение озонового щита Земли и повышенное влияние жесткого излучения Солнца ведут к исчезновению земноводных. Авторы публикации полагают также, что УФ-излучение особенно пагубно для земноводных при взаимодействии с другими негативными факторами среды.

Другой коллектив, состоящий из специалистов геологических и сельскохозяйственных служб США<sup>2</sup>, занялся изучением еще одной вероятной причины резкого сокращения земноводных на западе США — в Калифорнии. Особенно сильные изменения отмечаются в сельскохозяйственных районах. Проверяли естественное предположение о возможной роли пестицидов. Специалисты оценивали активность фермента холинэстеразы (особенно чувствительной к присутствию в среде фосфорорганических пестицидов) в организме королевской квакши *Hyla regilla* — широко распространенной в этом регионе. Исследуя активность фермента как у взрослых особей, так и у головастиков, они установили, что пониженная его активность характерна именно для тех популяций, которые находятся в наиболее угнетенном состоянии. Таким образом, подтверждается и гипотеза о связи исчезновения земноводных с воздействием на них используемых человеком ядохимикатов.

© Д.В.Семенов,  
 кандидат  
 биологических наук  
 Москва

<sup>1</sup> Conservation Biology. 2001. V.15. №4. P.914–929.

<sup>2</sup> Environmental Toxicology and Chemistry. 2001. V.20. №7. P.1591–1595.



**Физиология. Медицина**

**Контроль физиологических функций при стрессе**

Различные виды деятельности человека, требующие огромного психоэмоционального напряжения, зачастую приводят к нарушениям жизненно важных функций. Сам человек не в состоянии своевременно реагировать на возникающие в организме сбои. В повседневной жизни для охраны здоровья людей необходимы бытовые медицинские устройства, оповещающие о первых признаках нарушений физиологических функций.

Согласно теории Г.Селье, установлены критерии стресса, однако окончательно вопрос о них еще не решен. В Московской медицинской академии им.И.М.Сеченова и в Институте нормальной физиологии им.П.К.Анохина в экспериментах на животных и при обследовании людей разработан новый объективный критерий стресса<sup>1</sup>. Он основан на вычислении коэффициента корреляции между артериальным давлением, частотой сердечных сокращений и частотой дыхания. Показано, что эмоциональный стресс у людей и животных снижает корреляционные связи между этими вегетативными показателями.

На базе проведенных исследований разработано устройство — дозатор стресса — для индивидуальной количественной оценки степени развития этого эмоционального состояния. Прибор регистрирует частоту сердечных сокращений и частоту дыхания и позволяет сделать расчет коэффициентов корреляции. Дозатор стресса можно использовать в физиологических исследованиях, для функциональной диагностики, в спортивной и авиакосмической медицине.

© **О.О.Астахова**  
Москва

<sup>1</sup> Юматов ЕА. Тезисы докладов XVIII съезда Физиологического общества им.Н.П.Павлова. Казань, 2001. С.288.

**Охрана природы**

**От «зоны смерти» к «полосе биоразнообразия»**

Четыре десятилетия Германия была разделена на два государства запретной зоной. После воссоединения страны выяснилось, что на этой бывшей нейтральной безлюдной территории сохранились многие виды животных и растений, давно ставшие редкими в Центральной Европе<sup>1</sup>. Немецкие специалисты предлагают создать здесь ряд заповедников. На изучение рациональности такого решения Министерство по охране природной среды ФРГ выделило средства, эквивалентные 325 тыс. долл. США. В настоящее время здесь уже существуют 174 заповедных участка — это более половины площади бывшей «зоны смерти». В случае положительного решения вопроса «полоса жизни» займет 85% этой территории.

Однако среди немецких крестьян есть противники такого развития событий: они настаивают на хозяйственном использовании по крайней мере половины этих земель. Решить проблему должно федеральное правительство.

Science. 2001. V.292. №5519. P.1055 (США).

**Экология. Гидрогеология**

**Что делать с великими болотами Флориды?**

Болота Эверглейдс, расположенные на юге штата Флорида, — одни из крупнейших в мире. Проведенные несколько десятилетий назад большие мелиоративные работы превратили часть этих субтропических болот в обрабатываемые земли, а значительную долю пресных вод, стекавших прежде в Атлантику, преобразовали в источник питьевой, промышленной и бытовой влаги для быстро разрастающихся населенных пунктов и курортов Атлантического побережья.

<sup>1</sup> Судьба бывшей приграничной полосы между ГДР и ФРГ // Природа. 1996. №12. С.102.

режья. Лишь на юго-западе этой территории был сохранен национальный парк «Эверглейдс»<sup>1</sup>.

Основанный в 1947 г. парк занимает сейчас около 567 тыс. га. Его характерный ландшафт — мангровые леса и переувлажненные участки, доступные лишь на плоскодонных лодках и катерах. Здесь охраняются 24 вида эндемичных и находящихся под угрозой полного исчезновения животных, в том числе пума, белохвостый олень, острохвостый аллигатор и др.

В последнее время в США возобладало мнение, что весь район Эверглейдс следует в максимальной степени вернуть в прежнее естественное состояние. Созданная Конгрессом экспертная комиссия высказала предварительное суждение по поводу одной из составляющих этого грандиозного плана. Она призывает к осторожности в попытках восстановить естественный сток из оз.Окичоби (длиной 60 км) по подземному водоносному слою, для чего, согласно проекту, предлагается пробурить более 330 скважин для сброса туда воды на случай засушливого года. Предварительные планы предусматривают «переадресовку» на хранение около 6.3 млн м<sup>3</sup> воды в сутки, а это — беспрецедентное по масштабам мероприятие такого рода. При этом предполагается уничтожить почти все существующие каналы, насыпи, плотины и дамбы. Член комиссии гидрогеолог Дж.Бар (J.Bahr) считает, что реализация таких намерений может привести к непредсказуемым и даже непоправимым последствиям. В связи с этим в 2003 г. намечено пробурить лишь несколько экспериментально-исследовательских скважин для изучения местных геологических условий и качества воды.

Согласно постановлению Конгресса, на все необходимые по восстановлению болот операции, которые в течение 20 лет будет проводить Инженерный корпус Армии США (он же в свое время и строил осушительные сооруже-

<sup>1</sup> Восстановление великих болот // Природа. 1994. №2. С.115.

ния), будет выделено 7.8 млрд долл. Руководитель экологического отдела Инженерного корпуса С.Эпплбаум (S.Applebaum) заявил, что его ведомство внимательно прислушивается к мнению экспертной комиссии и уже организует локальные пробные работы и сбор данных для анализа возможных последствий столь крупного проекта.

Science. 2001. V.291. №5506. P.959 (США).

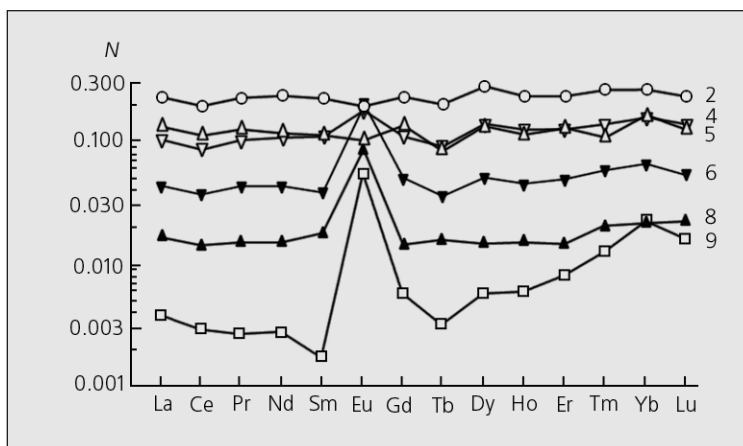
### Геохимия. Океанология

## Избыточный европий в современных фосфоритах

Европий — один из 14 редкоземельных элементов (РЗЭ), обычно сопутствующих фосфоритам, которые распространены в древних морских осадочных отложениях на всех континентах. Распределение в этих породах европия считается стабильным: при сопоставлении содержащихся в них РЗЭ со средней их концентрацией в осадочных породах он, как правило, не показывает ни относительного обогащения, ни обеднения по сравнению с элементами той же группы. Но при исследовании современных фосфоритовых стяжений из диатомовых илов шельфа Намибии обнаружился новый стороны поведения редкоземельных элементов<sup>1</sup>.

Эти образования оказались исключительно бедны РЗЭ, но на фоне такого общего обеднения они относительно обогащены европием. Если среднее содержание суммы всех РЗЭ в осадочных породах около 200 г/т, а в древних фосфоритах находится в диапазоне 77—860 г/т, то в современных диатомовых илах оно составляет около 38, в слабо фосфатизированных илах (относящихся к начальной стадии формирования конкреций) — 23, в рыхлых конкрециях — 7, в уплотненных и плотных — от 0.8 до 3.3 г/т. Но при этом относительное содержание европия в современных фосфатных стяжениях примерно на по-

<sup>1</sup> Батурич Г.Н., Люк Ж., Прево-Люк Л. // ДАН. 2001. Т.379. №5. С.647—650.



Распределение редкоземельных элементов в диатомовом иле и фосфатных стяжениях различной степени литификации. Относительное содержание РЗЭ (N) нормировано по их средней концентрации в осадочных породах. Цифры справа — номера образцов: 2 — диатомовый ил, 4, 5 — фосфатизированный ил, 6 — рыхлая конкреция, 8 — уплотненная конкреция, 9 — плотная конкреция.

рядок выше прочих РЗЭ (общая картина распределения РЗЭ в этих образованиях представлена на графике).

При расчетах аномалии поведения европия<sup>2</sup> оказывается, что в диатомовых илах она ниже 1.0 (0.65—0.87), а в фосфатных стяжениях по мере их литификации сначала повышается в среднем до 10, а затем снижается в среднем до 4.4. При этом в образцах с минимальным суммарным содержанием РЗЭ эта величина максимальна. Причина столь необычного поведения европия в современных фосфоритах связана, вероятно, с резко восстановительной средой их формирования в обогащенных органическим веществом диатомовых илах ( $E_h < 200$  мВ).

Геохимическое своеобразие европия состоит в том, что его валентность переменна: в условиях земной поверхности, при свободном доступе кислорода, он, как и прочие РЗЭ, трехвалентен, но в прогретых глубинах Земли, в отсутствие свободного кислорода, он восстанавливается до двухвалентного состояния и становится более подвижным, переходя

<sup>2</sup> О расчете европиевой аномалии подробнее см.: Костицын Ю.А. Накопление редких элементов в гранитах // Природа. 2000. №2. С.28—29.

в циркулирующие по трещинам горных пород гидротермальные растворы значительно интенсивнее остальных РЗЭ.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что европий может переходить в двухвалентное состояние не только в глубинах Земли, но и в условиях восстановительного диагенеза морских осадков, накапливаясь в формирующихся там новообразованиях. Преимущественное накопление в них европия связано с его относительно повышенной подвижностью и, вероятно, вхождением в кристаллическую решетку фосфатного минерала. Кроме того, двухвалентный европий может накапливаться и в барите, включения которого тоже нередко присутствуют в современных стяжениях. Низкое же общее содержание в них РЗЭ обусловлено их малым содержанием во вмещающих илах.

Однако в переотложенных плиоцен-плейстоценовых фосфатных зернах и конкрециях с шельфа Намибии, которые аналогичны по морфологии, минералогии, основному химическому составу и генезису современным образованиям, содержание РЗЭ значительно выше, а европиевая аномалия практически отсутству-

ет. Это объясняется тем, что основной этап накопления в них редкоземельных элементов был связан с постформационным преобразованием на поверхности дна и контактом с придонной водой — источником РЗЭ обычного состава. Благодаря этому унаследованная от диагенеза исходная величина европиевой аномалии уменьшается пропорционально росту общего содержания РЗЭ и в конечном итоге сглаживается, становясь аналитически неуловимой.

© **Г.Н. Батулин**,  
доктор геолого-  
минералогических наук  
Москва

## Геохимия

### Эпигенетическое преобразование древних отложений

Геологическая история осадочных горных пород разделяется на два важных этапа: формирование осадков и превращение их в горные породы, а затем эпигенетические (вторичные) изменения ранее сформировавшихся пород. В первую очередь таким изменениям подвергаются наиболее химически реакционные глинистые и карбонатные породы. На фоне постепенных (медленных в масштабах геологического времени) минеральных и химических преобразований вещества происходят внезапные, быстрые изменения — они связаны либо с достижением породами определенной граничной температуры (глубины), при которой скачкообразно возрастает скорость минеральной трансформации, либо с общепланетарными или региональными тектоническими событиями. Минеральное и химическое преобразование осадочных пород сопровождается перестройкой их изотопных систем. При активных и кратковременных событиях, связанных с геохимическими изменениями осадочных пород, «изотопные часы» в них каждый раз устанавливаются на нулевую отметку.

В.И.Виноградов, М.И.Буякайте и В.И.Муравьев (Геологический институт РАН) изучили Rb-Sr систему глинистых пород из коллекции палеонтологических проб М.Б.Бурзина (Палеонтологический институт РАН). Эти породы относятся к поздневендским и раннекембрийским (570—530 млн лет) отложениям, которые были вскрыты скважинами, пробуренными в Ярославской обл. на Гаврилов-Ямском геофизическом полигоне. Этот разрез — опорный для венда Московской синеклизы.

Оказалось, что взятые с глубины 1761—2394 м образцы глин, которые приурочены к отложениям нижнего кембрия (галичская свита), ровенского (некраховская свита) и котлинского (любимская свита) горизонтов, а также к самым верхам сохранившихся здесь отложений редкинского (верхняя часть непейцинской свиты) горизонта позднего венда, показывают в изохронных координатах возраст  $390 \pm 40$  млн лет (с начальным отношением  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.741 \pm 0.003$ ), что примерно соответствует границе нижнего и среднего девона. С этим временем связано начало грандиозного в истории Земли периода горообразования. Один из его тектонических этапов и зафиксирован, видимо, в вендских отложениях Русской платформы. Именно тогда происходила предсреднедевонская перестройка всей структуры платформы — общее воздымание и разрыв на значительной ее части силурийских, ордовикских, кембрийских и вендских отложений. Данные события могли активизировать деятельность водонапорных систем в осадочных толщах и привести к их минеральной и геохимической переработке, что отразилось на изотопных системах глинистых минералов. В той части Московской синеклизы, где расположен куст гаврилов-ямских скважин, глубина переработки горных пород (считая от подошвы среднего девона) достигала почти километра.

Выявленный феномен глубокой переработки древних отложений подземными водами, имев-

ший место в девоне, может объяснить полное отсутствие углеводородов в раннепалеозойских породах, а также в большей части разреза верхнего венда Центральных районов Русской платформы. Лежащие ниже толщи редкинского горизонта (низы непейцинской свиты и гаврилов-ямская свита), которые сложены глинами с прослоями пеплов, являлись водоупорами, и в них переработка, связанная с деятельностью подземных вод, не происходила. Таким образом, нижняя часть венда на Русской платформе остается перспективной для поиска нефти и газа<sup>1</sup>. (Исследования поддержаны РФФИ, проект 01-05-064178.)

© **В.И. Виноградов**,  
доктор геолого-  
минералогических наук  
**М.Б. Бурзин**  
Москва

## Вулканология

### Что «задумал» Планшон-Петероа?

В 200 км к югу от столицы Чили Сантьяго возвышается гора Планшон-Петероа (4108 м над ур.м.). В конце 1998 г. на ее верхних склонах происходили небольшие взрывы, после которых на 8 км окрест отложился тонкий слой пепла. Эти незначительные проявления активности вскоре прекратились. 12 декабря 2000 г. с пассажирского самолета наблюдали клубы пара, вздымавшиеся на 200-метровую высоту. Однако и это не вызвало особой тревоги. Лишь в конце января — начале февраля 2001 г. П.Сруога (P.Sruoga; Геологическая служба Аргентины), поднимавшаяся по склону вулкана, обнаружила, что активность его повысилась: значительно участились выбросы пара из расщелин; ощущался сильный запах серы; в зоне старых кратеров снег покрывался красноватым налетом; из-под земли доносилось громахание.

<sup>1</sup> О нефтегазоносности Русской платформы см.: Бурзин М.Б. Древнейшие организмы — источник нефти на Русской платформе? // Природа. 1996. №2. С.38—44.



В этом горном районе минувшие два года отличались повышенной снежностью. Власти предупредили население об опасности взрывного характера извержения и сообщили о возможной непригодности для питья воды из р.Кларо, в которую попадают вулканические продукты. Весной тающие ледниковые воды проникают в горячие расщелины, из которых вверх, на высоту до 3.9 км, взвиваются столбы пара.

Активность Планшон-Петероа началась десятки тысяч лет назад: изверженные тогда материалы сложили гору Асуфре. Позже в 6 км к северу от нее сформировался собственно вулкан Планшон. Примерно 11.5 тыс. лет назад обе горы обрушились и соединились, а по руслу р.Тено прошла мощная каменная лавина (ее последствия в Центральной долине Чили). Уже в исторические времена возник самый молодой из этой группы вулканов — Петероа, чьи многочисленные расщелины разбросаны между Асуфре и Планшоном. В главном кратере Петероа находится озеро кипящей воды.

Вулканическая активность в этом комплексе носит преимущественно взрывной характер, но в 1837 и 1937 гг. из кратеров лавовые потоки изливались без взрыва. На восточном склоне Планшон-Петероа размещены сейсмические приборы, которые фиксируют поведение глубинных скоплений магмы. Вулканологи поставили теперь эти огнедышащие горы под более тщательный надзор.

Bulletin of the Global Volcanism Network. 2001. V.26. №3. P.9 (США).

### Вулканология

#### В Центральной Америке недра беспокойны

Над прибрежной тихоокеанской равниной Гватемалы грозно высится цепь вулканов. Один из крупнейших — Санта-Мария (3772 м над ур.м.). Овальный кратер шириной 1.5 км на юго-западном склоне возник в 1902 г., во время катастрофического из-

вержения, ставшего причиной гибели множества людей. Затем, после 20-летнего затишья, вплотную к кратеру начал расти новый лавовый купол, по мере увеличения которого все чаще случались слабые взрывы с выбросом облаков газа и небольшими лавовыми излияниями. В начале 2001 г. вулкан окончательно проснулся: язык лавы вытянулся на 3.6 км, его толщина выросла с 18 до 67 м, а ширина превысила 510 м. Выбросы пепла происходили до четырех раз в час, шлаковый купол неоднократно обрушался. Выделение SO<sub>2</sub> иногда превышало 200 т/сут — вдвое больше средней величины за предшествующие десятилетия. От раскаленной лавы загорелась растительность. Тем не менее прямой угрозы местному населению, по мнению специалистов, тогда не было.

Более опасен другой вулкан, Пакая, и не столько своей активностью, сколько близостью к столице страны — Гватемале. В конце января 2001 г. из его кратера постоянно выделялись газы (до 550 т/сут) и слышался глухой гул. Земля вокруг кромки кратера сотрясалась, на дне появилась свежая лава.

В соседнем Сальвадоре находится вулкан Санта-Ана, самый высокий в стране (2365 м над ур.м.). Его вершинный кратер заполнен озером (диаметр 200 м, глубина 27 м), на берегах которого много горячих (до 80°C) источников. В самом озере температура воды обычно не превышает 19°C, однако к концу 2000 г. она повысилась до 30°C, приобрела желтовато-коричневый цвет, а со дна начали подниматься большие пузыри газов. Кислотные пары и насыщенные газом атмосферные осадки стали причиной гибели растительности в радиусе до 13 км. На побережье Сальвадора, в 150 км от Санта-Аны, 13 января 2001 г. произошло мощное землетрясение ( $M=7.6$ ), вызвавшее многочисленные разрушения по всей стране. В последующие 6 сут из-за 660 повторных толчков меньшей силы погибли сотни людей, свыше 2.5 тыс. было ранено. Сейсмологи полагают, однако, что эта катастрофа не связа-

на с вулканом Санта-Ана: установленные на его склонах сейсмометры не показали ничего необычного в момент землетрясения.

Проявил себя в 2001 г. и вулкан Масая, самый активный и необычный в Никарагуа. Вокруг огромной кальдеры (6×11 км<sup>2</sup>) высится крутая 300-метровая каменная стена. Поблизости расположена обширная система активных разломов. 23 апреля в кратере вулкана внезапно произошел взрыв; из новой расщелины на расстоянии 500 м полетели огромные бомбы. По счастливой случайности всего за час до взрыва этот район покинули сотрудники Кембриджского университета (Великобритания), изучавшие газовые выделения в кратере. Сразу после извержения все вернулось в норму.

Таким образом, для Центральной Америки 2001 г. стал временем высокой вулканической активности.

Bulletin of the Global Volcanism Network. 2001. V.26. №4. P.8–13 (США).

### Гляциология

#### Скандинавия после снятия ледовой нагрузки

Известно, что в начале четвертичного периода весь Скандинавский п-ов был покрыт слоем льда мощностью в несколько километров. Затем ледовый покров начал отступать и таять, освобождая от гигантского веса прогибавшуюся под ним земную кору. Хотя массивное оледенение там уже не существует, остаточный процесс поднятия земной поверхности все еще продолжается. Его изучением занимается международная и междисциплинарная группа специалистов в составе Дж.А.Милна (G.A.Milne; Даремский университет, Великобритания), Дж.Л.Дейвиса (J.L.Davis; Гарвардско-Смитсоновский астрофизический центр в Кембридже, США), Дж.Митровицы (J.Mitrovica; Торонтский университет, Канада), Х.-Т.Шернека (H.-G.Schernek; Онсальская космическая обсерватория, Швеция), М.Вермеера (M.Vermeer; Финский геодезический институт в Масале) и др.

Проведенный ими анализ данных, собранных спутниками системы GPS (Global Positioning System), показал, что продолжающаяся и сегодня в Фенноскандии трехмерная деформация земной коры в основном определяется изостатическими условиями — «приспособлением» к отсутствию ледовой нагрузки.

Сопоставление данных GPS с математическими прогнозами позволило построить модель земной коры, которая удовлетворяет независимо выработанным геологическим ограничениям. Средняя вязкость вещества верхней мантии оценена в пределах от  $5 \cdot 10^{20}$  до  $1 \cdot 10^{21}$  Па·с. Кроме того, стало возможным назвать упругую мощность верхней литосферы — между 90 и 150 км.

Специалисты сравнили данные GPS, описывающие радиальные движения коры, с данными скандинавской системы наблюдения за морскими приливами и пришли к заключению, что горизонтальные тектонические движения, скорость которых превышала бы примерно 1 мм/год, здесь происходить не могут.

Science. 2001. V.291. №5512. P.2381 (США).

### Гляциология

#### Озеро Восток тает и замерзает

К настоящему времени под ледовым панцирем Антарктиды обнаружено 77 озер. Крупнейшее из них (площадь около 20 тыс. км<sup>2</sup>) было открыто советскими учеными под четырехкилометровым слоем льда рядом со станцией «Восток» и получило то же имя<sup>1</sup>. Дно этого изогнутого полумесяцем пресноводного бассейна имеет резко пересеченный рельеф, глубина местами достигает 1000 м.

В 2000 г. гляциолог М.Зигерт (M.Siegert; Бристольский университет, Великобритания) с коллегами провели трехкратную радиолока-

ционную съемку озера. Оказалось, что у западной и северной его окраин, несмотря на низкие температуры, ежегодно стаивает почти 10-сантиметровый слой льда (температура таяния ниже обычной из-за большого давления лежащего сверху ледяного щита). Впоследствии талая вода вновь замерзает у основания ледяного покрова, наращивая его снизу — но уже у противоположных берегов. Таким образом, воды озера медленно циркулируют — полный цикл их обновления, согласно подсчетам Зигерта, занимает 50—100 тыс. лет.

В декабре 2000 — январе 2001 г. группа во главе с геологом Р.Беллом (R.Bell; Обсерватория по изучению Земли им.Ламонта и Дорэрти при Колумбийском университете, Палисейдс, штат Нью-Йорк, США) провела радиолокационную съемку озера с самолета-лаборатории «Twin-Otter» (60 полетов за 33 дня). Ученые обнаружили резкие различия в толщине ледовых слоев над озером, вызванные, видимо, постоянным таянием и повторным замерзанием воды. Предварительный анализ показал, что этот цикл примерно втрое короче, чем полагал Зигерт.

5 января сейсмографы, установленные на льду озера, зафиксировали два близких подземных толчка ( $M = 3$ ). (За истекшее столетие здесь было зарегистрировано три землетрясения магнитудами от 4 до 6.) Возможно, сейсмичность района объясняется непосредственной близостью оз.Восток к границе двух различных участков молодой земной коры, заметной на радиолокационных изображениях. Science. 2001. V.291. №5509. P.1689 (США).

### Палеоклиматология

#### Южноамериканские дожди 25 тысяч лет назад

На климатические условия Западного полушария большое влияние оказывает атмосферная конвекция в трех основных центрах: тропических областях Южной Америки, Африки и западной акватории Тихого океана. Климатические изменения в тропиках, происходящие в межгодовом и десятилетнем масштабах, воздействуют на погоду более высоких широт. Однако до сих пор малоизучены причины и характер длительных (тысячелетних и более) вариаций тропического климата. Существенный пробел в этих знаниях восполняет исследование коллектива палеоклиматологов, геологов, гидрологов и биологов, который возглавляет П.А.Бейкер (P.A.Baker; Дьюкский университет в Дареме, США).

Работы велись на крупнейшем в Южной Америке высокогорном оз.Титикака (3810 м над ур.м., площадь 8320 км<sup>2</sup>). Пробурив дно в глубоководной части (89, 152 и 230 м), подняли колонки грунта, которые позволяют судить о климатических условиях за последние 25 тыс. лет.

Озеро Титикака в период между 25 и 15 тыс. лет назад представляло собой глубокий пресноводный бассейн с постоянным стоком в р.Десагуадеро. Это означает, что во время последнего максимума оледенения (примерно 21 тыс. лет назад) на плоскогорье Альтиплано (нынешние территории Перу и Боливии), а также на значительной части бассейна Амазонки климат был намного влажнее, чем теперь.

Наиболее засушливые условия в данном районе и самый низкий уровень воды в оз.Титикака приходится на ранний и средний голоцен (8000—5500 лет назад), когда в летний сезон инсоляция была незначительной.

Сегодня зеркало вод в озере повышается, как и влажность в бассейне Амазонки, что совпадает с наблюдаемыми в северной части тропической Атлантики аномально холодными температурами поверхностного слоя океана. Как теперь установлено, влажные фазы длительностью в тысячелетия, неоднократно возникавшие на плоскогорье Альтиплано и в Амазонии в периоды отступления ледников, тоже совпадали с аномальными похолоданиями экваториальной и даже высокоширотной Северной Атлантики. Один из таких эпизодов — проис-

<sup>1</sup> Крупнейшее подледное озеро Антарктиды // Природа. 1997. №10. С.126; Антарктический феномен — озеро Восток // Там же. 2000. №2. С.61—68.

ходившее 10 800—10 100 лет назад позднеледниковое понижение температуры (молодой дриас).  
Science. 2001. V.291. №5504. P.640 (США).

### Палеонтология

#### Предок тираннозавра

До сих пор происхождение тираннозавра — самого страшного, вероятно, хищника в истории Земли — было неясным. Предполагали, что ему предшествовала длинная цепь предков, тянувшаяся с конца юрского периода примерно на 80 млн лет. Но некоторые палеонтологи давно считали, что тираннозавр сформировался «лишь» 65 млн лет назад в результате быстрой эволюции мелких хищников-целурозавров. Такая гипотеза не нашла в свое время широкой поддержки, что объяснялось отсутствием остатков какой-либо переходной формы от одного из мелких целурозавров к гиганту тираннозавру. Теперь этот пробел, по видимому, заполнен.

Палеонтолог-любитель наткнулся на о.Уайт, у самого южного побережья Великобритании, на части скелета какого-то зверя, пролежавшие там 132 млн лет. На место прибыла группа английских ученых из Портсмутского университета и Геологического музея о.Уайт, которые при участии опытного палеонтолога Д.Нейша (D.Naish) установили, что обнаружен предок тираннозавра. Его назвали эотиранном (*Eotyrannus*), т.е. древним, изначальным тиранном, подчеркнув тем самым родство с хищным гигантом. находка ценна и тем еще, что составляет около 40% всего костяка пятиметрового животного и включает переднюю половину черепа. Тщательный анализ показал сходство многих особенностей эотиранна с его громоздким потомком: так, носовые кости у обоих сливаются воедино, а передние зубы в поперечном разрезе имеют одинаковую D-образную форму. Другие же черты эотиранна выглядят намного примитивнее. Передние конечности удлинены, а это как раз и предвещало сторонники отвергнутой ранее гипотезы.

«Крестный отец» эотиранна, палеонтолог Т.Хольц (T.Holz; Университет штата Мэриленд, США), указывает, что хорошо развитая челюстная система, характерная для тираннозавров, по-видимому, возникла у хищника, который уже был способен хватать жертву передними конечностями и удерживать ее, о чем и свидетельствуют остатки его предка-эотиранна.  
Science. 2001. V.292. №5520. P.1278 (США).

### Археология

#### Первые горожане Америки

Одно из самых безводных мест Южной Америки — западная часть Перу. Казалось бы, в древности человек на этих пустынных землях жить не мог. Тем не менее археологи находили здесь свидетельства пребывания людей, но считали, что это были кратковременные поселения.

Недавние находки археологов под руководством Р.С.Солис (R.S.Solis; Национальный университет св.Марка, Лима, Перу) поколебали эту точку зрения. В долине р.Супе, в полупустынном урочище Караль, что в 200 км к северу от Лимы и в 23 км от океана, ученые обнаружили следы весьма высокой культуры, причем явно не кочевого и не приморского характера. Ее носители вели вполне «городской» образ жизни. Судя по сохранившимся остаткам, это поселение в пору своего расцвета состояло из восьми жилых кварталов, двух круглых площадей и шести огромных плосковерхих курганов. Строения сложены из камней, добытых в каменоломнях, или из гальки, привезенной с берега полупересохшей реки. Крупнейший из курганов (площадью более четырех футбольных полей) был увенчан четырехэтажным зданием, в котором прослеживаются амфилады комнат — археологи предполагают, что здесь проводились религиозные церемонии.

Датировали это поселение по остаткам засохшей травы и листьев, сохранившихся в плетеных из

растений мешках, которые использовались для переноски камней. Содержание в образцах растительности изотопа <sup>14</sup>C указывает, что строительство велось около 2600 г. до н.э. Это отодвигает начальный этап возникновения городской культуры в Америке почти на 800 лет.

Исследователи смогли ответить и на вопрос о том, как город мог существовать практически без воды (ее едва хватало на питье). Оказалось, что перуанские индейцы в тот период уже владели искусством ирригации. Сначала поселенцы использовали воду заливных лугов р.Супе, а когда этот резерв начал иссякать, вырыли в 2 км выше по течению реки узкий канал и соорудили примитивный шлюз для регулировки стока (переброске воды очень способствовала местная топография: для строительства даже простейшей ирригационной сети на большей части равнин этой страны пришлось бы рыть более глубокие и длинные каналы и сооружать многочисленные шлюзы). Получив достаточно влаги, жители Каралья энергично взялись за выращивание тыквы, гуавы, бобов и даже влаголюбивого хлопка, став таким образом первыми аграриями Америки.

Это открытие ставит под сомнение теорию археолога М.Мосли (M.Mosley; Университет штата Флорида, Гейнсвилл, США), который еще 25 лет назад высказал предположение, что индейцы-первопоселенцы решили осесть именно на побережье Тихого океана, богатом рыбой и другими дарами моря, а в глубь континента долгое время якобы не проникали. Неподалеку от приливной полосы они и строили свои все более совершенные жилища, там и развилось их весьма сложно организованное общество. Однако раскопки Каралья свидетельствуют, что по крайней мере этот город на века старше любых других индейских поселений. Таким образом, скорее приморские поселки стали «выселками» внутриконтинентального города, чем наоборот.

Science. 2001. V.292. №5517. P.621, 724 (США).



# Наследие Русской Арктики

К.Д.ЗЫКОВ,

кандидат биологических наук

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

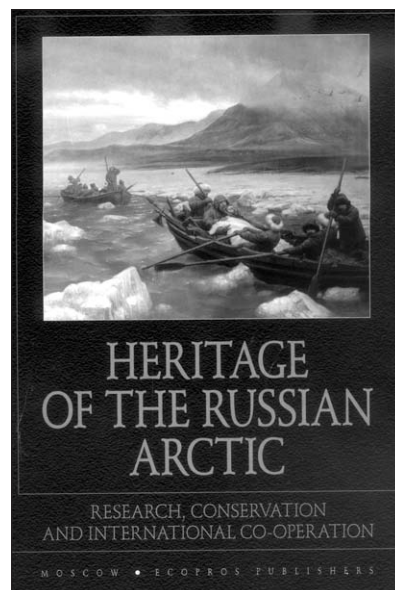
На первой странице в изящно воспроизведенном медальоне изображен красивый молодой человек с бородкой над высоким плисированным воротником. Ниже надпись «В память Виллема Баренца, знаменитого голландского мореплавателя, родившегося около 1550 года на острове Тершеллинг на севере Нидерландов (Голландия) и умершего 20 июня 1597 года у северо-западной оконечности Новой Земли в Русской Арктике». На титульном листе — маршрут Баренца от берегов Голландии вдоль побережий Скандинавии и Шпицбергена до Новой Земли.

Уже не одно столетие район Арктики, носящий имя Баренца, представляет очень большой интерес как арена освоения земель и хозяйственной деятельности человека. Для биолога этот регион не что иное, как область кратковременной сезонной, но чрезвычайно высокой концентрации жизни. Это зона биосферы, в которой производится значительная часть рыб, птиц и даже млекопитающих, мигрирующих сюда из южных районов на период размножения. Для палеогеографа — котел, в котором смешались разнообразные этносы — от коренных северян (аборигенов евра-

зийского происхождения и пришедших сюда славян-поморов) до мигрантов из Средиземноморья. Для историка — кузница, в которой на протяжении веков выковывался особый тип бесстрашных землепроходцев. Для современных разведчиков недр — богатейшая кладовая нефти, газа и других полезных ископаемых.

Нет ничего удивительного в том, что этот район Арктики давно привлекает внимание Российской академии наук. Понятно и то, что Министерству сельского хозяйства, природопользования и рыболовства Нидерландов, которое курирует экологические исследования и поддерживает работу ученых из разных стран, также интересен и важен этот регион. 90-е годы прошлого столетия отмечены все более тесными контактами российских и голландских ученых, занимающихся охраной окружающей среды. Результатом такого процесса стала подготовка и удачное осуществление мероприятий, посвященных памяти выдающегося голландского исследователя Арктики — Виллема Баренца.

В 1594—1597 гг. Виллем Баренц руководил тремя экспедициями, задачей которых были поиски Северо-Восточного прохода из Европы и Северной Атлантики в Тихий океан.



HERITAGE OF THE RUSSIAN ARCTIC. Research, conservation and international co-operation. International Scientific Memorial Arctic Conservation Symposium. Design B.S.Ebbinge et al.

*М.: Ecopros, 2000. 640 p.*

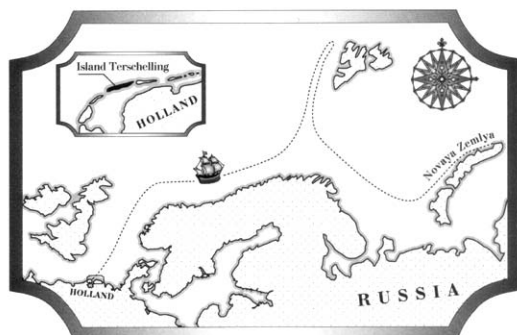
НАСЛЕДИЕ РУССКОЙ АРКТИКИ. Исследования, охрана природы и международное сотрудничество. Международный научный симпозиум по охране Арктики. Сост. Б.С.Эббинге и др.

*М.: Экопрос, 2000. 640 с.*

© К.Д.Зыков



To the memory  
of Willem Barents,  
famous Dutch navigator,  
born around 1550  
on the Island of Terschelling  
in the north  
of the Netherlands (Holland)  
and died on 20th June 1597  
near the north-western coast  
of Novaya Zemlya,  
Russian Arctic



Первая страница книги.

Во время этих походов он обследовал Шпицберген, открыл ряд островов и составил карты берегов Новой Земли. Интересно, что последний топоним использован Баренцом на его родине, и сегодня площадь, на которую выходит улица им. Виллема Баренца в Амстердамском порту, носит название, явно напоминающее о его контактах с русскими, — Нова Зембла. С другой стороны, древнее русское название Студеное море в наше время стало Баренцевым. Найти Северо-Восточный проход ни ему, ни последую-

щим экспедициям, не имевшим в своем распоряжении ледокольных кораблей, до начала XX в. так и не удалось.

Виллем Баренц провел три года в плаваниях по северным морям и окончил свой земной путь где-то на северо-западе Новой Земли, но могила пока достоверно не обнаружена. Единственное описание его экспедиций было сделано Герритом де Веером в 1598 г. Место последней стоянки Баренца на мысу Спорый Наволок изучено подробно. Впервые оно было описано в 1871 г. норвежским охот-

ником Эллингом Карлсенем. Однако неоднократные посещения этой части острова моряками и охотниками за 300 лет привели к утрате всего того, что оставалось после зимовки 1596/97 гг. Карлсен пишет, что на месте бывшего лагеря он нашел нижние венцы достаточно большого сруба площадью 50 м<sup>2</sup>, с классическими пропорциями «золотого сечения». Много деревянных предметов сгорело, но все же около 300 удалось собрать. Большинство из них находится в Национальном музее в Амстердаме, а также в Морском музее в Роттердаме и в различных частных коллекциях. В XX в. большую работу провели Б.В. Милорадович (1934) и члены экспедиции под руководством Д.Ф. Кравченко (1983). Материалы их исследований находятся в Музее Арктики и Антарктики в Санкт-Петербурге.

К 400-й годовщине арктических походов Баренца, в марте 1998 г., в Москве по инициативе ученых России и Нидерландов был проведен симпозиум, на котором обсуждались самые разнообразные вопросы освоения Арктического бассейна, а также охраны природы и международного сотрудничества. В нем участвовало около 150 представителей из 14 стран (от Скандинавии до Южной Африки). Материалы 64 докладов и выступлений вошли в рецензируемую книгу.

Сборник начинается со вступительной статьи менеджера симпозиума Ю.Л. Мазурова и серии докладов, представленных на его открытие. Автор предисловия подчеркивает выдающуюся роль ряда голландских и русских исследователей в изучении Арктики и значение международного, в том числе российско-голландского, научного сотрудничества. На развитие этих работ в последние годы несомненно повлияла активность известного голландского орнитолога, одного из ведущих сотрудников Министерства сельского хозяйства Нидерландов

доктора Жерарда Буре. Несомненно его заслуга в организации симпозиума и издании книги. Но нельзя не отметить и роль в подготовке форума российских участников — сотрудников Госкомприроды Российской Федерации, Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова, а также Института природного наследия Российской академии наук, Министерства культуры.

Книга состоит из восьми глав. Первая посвящена истории экспедиций Виллема Баренца и началу систематических исследований Арктики русскими учеными. Путешествие Баренца стало прологом многочисленных походов по северным морям, и в том числе экспедиции Вел. кн. Алексея Александровича (1870). В ней участвовали известные русские ученые: почетный член Российской академии наук А.Ф.Миддендорф, ихтиолог Н.И.Данилевский, зоологи В.Н.Ульянин, И.С.Раевский и Ф.Ф.Яржинский. Описание экспедиции было подготовлено в 1871 г. гидрографом Е.В.Майделем и вышло отдельной книгой.

С середины XIX в. внимание к изучению морей Северного Ледовитого океана не ослабевает. Ведущая роль в исследованиях принадлежит нашим и скандинавским ученым.

Сборник рассказывает о наиболее острых и интересных проблемах Русской Арктики. В двух статьях, подготовленных К.Б.Клоковым (об использовании природных ресурсов Крайнего Севера) и В.М.Котляковым и Г.А.Агранатом (о современных проблемах региона), говорится об особенностях хозяйства местного населения.

Анализируя состояние домашнего оленеводства, Клоков показывает печальную картину неуклонного снижения численности стад северных оленей в тундровой зоне на протяжении полувекового периода. Это особенно заметно в Нгансанском округе Таймыра, где к се-

редине 80-х годов прошлого столетия домашний северный олень вообще исчез. Подъем его численности был зарегистрирован в 60—70-х годах в Долганском округе. Иная ситуация сложилась в Ненецком округе, где в начале 50-х стала наблюдаться в основном положительная динамика. Автор рассматривает разные подходы к использованию ресурсов — от тезиса «зеленых» («Ничего делать не надо, природа лучше знает») до абсолютного управления. Убедительно показана неприемлемость обеих позиций. Сам собой напрашивается вывод о необходимости частичного управления на базе учета современного состояния ресурсов и их динамики.

Котляков и Агранат рассматривают эколого-экономическую ситуацию в Арктике в более общем плане. Они отмечают относительно низкий уровень антропогенного и техногенного воздействия на экосистемы, но наряду с этим — чрезвычайно негативную реакцию северных малых народов. Полярные и горные районы могли бы служить модельными участками для выработки методов сохранения и рационального использования природных богатств там, где деятельность человека ведет к их необратимому истощению. В частности, можно было бы создать систему жесткого контроля за использованием биологических ресурсов и антропогенным воздействием на природу. Для северных народов самым важным становится правило, сформулированное английским биологом Хаксли: «Не приносите в жертву ради немедленной, но временной выгоды то, что сегодня может казаться ненужным».

Представляют интерес статьи Д.Н.Шустрова и Н.В.Вехова, касающиеся наземных и водных ресурсов региона. Несмотря на многовековое использование богатств арктической фауны, до сих пор сохраняется биологический потенциал северных

земель. Но с середины XIX в. промысловые нагрузки стали сказываться уже отрицательно и в итоге привели к существенному обеднению Арктики. Очевидно, что без протекционистской политики государства и развития сети небольших факторий, работающих с учетом местных условий, благополучное существование населения Крайнего Севера будет под угрозой.

С этой статьей перекликается работа Ф.А.Романенко, касающаяся воздействия человека на экосистемы Северо-Западного Таймыра. Если в XVII—XVIII вв. и даже в первой половине XX в. основное место занимал промысел зверя и рыбы, то к 60-м годам стали преобладать техногенные нарушения за счет транспорта и промышленности.

Вторая глава озаглавлена «Арктическая экология». Открывается она статьей М.ван Эйрде-на и И.А.Лавриненко об экологических исследованиях в районах Печорской дельты. В 1997 г. здесь был создан тундровый заповедник площадью в 3100 км<sup>2</sup>. На его территории совместной российско-голландской экспедицией проводились работы, которые позволили запланировать комплексные исследования с применением телеметрических методов. Результаты предполагаются использовать при решении проблем водно-болотных угодий в дельте Рейна.

В статье М.В.Глазова говорится о загрязнении арктических экосистем хлорорганическими и полиароматическими соединениями, которые накапливаются в фауне и флоре. Арктика оказывается аккумулятором, впитывающим поллютанты из океана, с трансграничным атмосферным переносом, осадением аэрозолей в холодных зонах.

«Теплеет или холодает Арктика?» — задает вопрос Ю.П.Кожевников. На фоне общего снижения средних температур наблюдаются неоднократные вторжения теплых континен-



тальных воздушных масс, преодолевающих напор океанического холодного воздуха. В результате учащаются случаи аномально теплых летних сезонов.

В.Б.Куваев и А.Д.Кожевникова исследовали и описали особенности растительного покрова на заполярном о.Сибирякова в Енисейском заливе. Особый интерес представляет сочетание видов флоры на границе их распространения, соседствующих с оседлой популяцией дикого северного оленя. Остров входит в состав Большого Арктического заповедника, и, следовательно, перспективы сохранения его экосистем для длительного изучения вполне реальны.

Статья В.А.Мухина рассказывает об упрощенной биоте низших растений, в том числе о ксилотрофных грибах. Ф.А.Романенко, Е.Е.Сыроечковский-младший, Е.Г.Лаппо, Н.Е.Зарецкая и А.П.Хольнов обращают внимание на зависимость размещения птичьих гнезд от геоморфологической структуры угодий на примере о.Прончищева (Восточный Таймыр). Позднечетвертичное оледенение и колебания уровня моря описаны в статье Я.Я.Зейберга, Д.Дж.Любински и С.Л.Форман.

Третья глава отдана растительности и ландшафтам. Здесь стоит остановиться на статье Н.В.Матвеевой, в которой п-ов Таймыр рассматривается как мини-модель всей Арктики. Большая протяженность его с юга на север, положение на Крайнем Севере и значительный перепад абсолютных высот определяют наличие единственного в Арктике полного экотона со всеми элементами рельефа, соответствующими типами почв, растительности и животного мира. Поэтому Таймыр заслуживает того, чтобы стать первостепенным объектом изучения и защиты. Отсюда вытекают выводы, сделанные в статье Д.А.Шахина, о целесообразности организации фитомониторинга как научной основы при

создании этно-экологических территорий в Арктике.

В следующих трех главах описываются популяции водноболотных птиц. Подробно изложены особенности распространения гнездовых ареалов птиц, относящихся к разным экологическим группировкам, на п-ове Таймыр и смежных территориях. Рассказывается и о менее исследованных районах дельты р.Лены и Путоранского нагорья.

В статье Б.С.Эббинге рассказывается о роли хищников в регуляции численности черных казарок. В годы высокой плотности населения леммингов совы преследуют пещ, а казарки пользуются их защитой от четвероногих хищников. В годы низкой численности черные казарки, видимо, по поведению чаек определяют участки, где пещы отсутствуют, и соответствующим образом меняют свою стратегию. Сходная картина взаимоотношений обыкновенной гаги и белого гуся с полярной совой на о.Врангеля дана в статье И.Е.Менюшиной.

Интересные материалы по динамике популяций и миграциям белого гуся на территории Евразии приведены в статье Й.Х.Моэй. Обсуждается и неоднозначно оценивается десятикратное повышение численности белолобого гуся в предыдущее десятилетие. К сожалению, в этой статье практически остались неиспользованными данные с европейской территории России, которые могли бы дополнить и уточнить картину состояния популяций этого вида.

Э.В.Рогачева рассматривает проблемы восстановления и охраны популяций водоплавающих птиц в контексте связей Центральной Палеарктики с другими районами Северного полушария. Слабая изученность, низкий уровень экономического развития и высокая плотность населения в южных областях России и на значительных территориях Индии и Китая создают особые условия, при которых самостоятельное финан-

сирование природоохранных программ оказывается малореальным.

В пятой главе, которая посвящена ржанкообразным, рассматриваются: формирование поселений колониально гнездящихся птиц (С.П.Харитонов), территориальный консерватизм бурокрылых ржанок и тулесов на Таймыре (Т.В.Свиридова), биология и распространение кроншнепа-малютки, долгое время считавшегося редким видом (Е.Е.Сыроечковский-младший, К.Цоклер).

В статье П.С.Томковича, Е.Г.Лаппо и Е.Е.Сыроечковского-младшего приводится обширный материал по изучению перемещений куликов с помощью кольцевания. За 40 лет на Таймыре помечено 5700 птиц 24 видов и получены многочисленные собственные возвраты, кольца и метки зарубежных орнитологов. Процент возвратов был особенно высок для исландского песочника (2.6%). Наиболее широкий веер разлета отмечен для краснозобиков, которые зарегистрированы в Европе, на юге Африки, в Индии и Австралии. Авторы отмечают особое значение разнообразных обширных ландшафтов Таймыра для воспроизводства многих видов куликов, которые принадлежат к популяциям, использующим разные пролетные пути.

Отдельная глава выделена млекопитающим. С.Е.Беликов рассказывает об исследованиях последнего десятилетия. В работах принимали участие русские, американские и норвежские специалисты. Идентифицированы три основные популяции белых медведей: лаптевская, находящаяся в плохом состоянии, карско-баренцевоморская, данных по которой недостаточно, и чукотско-аляскинская, в основном благополучная, которую можно в ограниченном масштабе использовать для нужд местного населения.

Н.Г.Овсянников изучал биогеоценотическую роль белого медведя на территории заповед-

ника «Остров Врангеля». Выяснилось, что остатки тюленей и моржей, добываемых медведями в ледовый период с береговых лежбищ, составляют значительную долю в питании таких хищников, как песец, ворон и белая сова. Они переносят большое количество органического вещества из морских экосистем в наземные береговые.

В статье Л.А.Колпащикова описаны популяции диких северных оленей Таймыра. В последние годы идет снижение промысла, в связи с чем наблюдается «старение» популяции. Доля животных старше 11 лет по сравнению с 70-ми годами увеличилась более чем вдвое.

Восьмая, заключительная, глава отдана вопросам охраны природы и формирования заповедной сети в Арктике. С.Балдурссон рассказывает о Международной программе охраны арктической флоры и фауны, учрежденной в рамках Стратегии сохранения арктической среды, и о подготовке плана развития циркумполярной сети охраняемых территорий.

С темами первой главы сборника перекликается статья

Н.Н.Большакова и К.Б.Клокова о принципах функционирования охраняемых территорий на Севере России, связанных с проблемами малочисленных народов. Абсолютная заповедность в условиях Арктики во многих случаях противоречит интересам аборигенного населения и задачам сбалансированного использования ресурсов экосистем.

Последняя статья сборника, написанная Е.Е.Сыроечковским-старшим и В.Б.Степаницким, подводит итог 22-летней работы по совершенствованию сети особо охраняемых территорий в Российской Арктике. За это время создано девять новых заповедников, площадь которых выросла в 30 раз. Однако подчеркивается, что система арктических заповедников еще далека от той, которую можно назвать совершенной. Пока отсутствуют заповедники в лесотундре, недостаточно развита сеть водноболотных угодий международного значения.

Завершается книга совместной декларацией участников симпозиума. В ней отмечается семилетняя годовщина успеш-

ного российско-голландского сотрудничества, направленного на продолжение многоаспектных исследований Арктики. Намечается разработка пятилетних программ и стандартизация мониторинга флоры и фауны с использованием инфраструктур Российской сети арктических станций, Российско-голландской станции им.В.Баренца и Российско-шведской биологической станции в устье р.Лены. Декларация симпозиума призывает все заинтересованные страны участвовать в Афро-азиатском сотрудничестве по водоплавающим птицам, в том числе в рамках Рамсарской конвенции.

Материалы симпозиума собраны в книге, отпечатанной на прекрасной бумаге и проиллюстрированной многочисленными фотографиями, картами и диаграммами. Тексты изложены на английском языке, но снабжены аннотациями на русском. Книга представляет интерес для тех, кому небезразличны история нашей страны и перспективы освоения и рационального использования природных ресурсов Арктики. ■

## Математика

**Р.М.Кроновер.** ФРАКТАЛЫ И ХАОС В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ: Основы теории. Пер. с англ. Т.Э.Кренкеля и А.Л.Соловейчика. М.: Постмаркет, 2000. 352 с.

Казалось бы, два таких разных математических объекта, как фракталы и хаос следует изучать независимо друг от друга, ведь теория фракталов опирается на геометрию и теорию размерности, а хаос есть развитие динамических сис-

тем. С другой стороны, между ними существует определенная взаимосвязь, которая часто теряется в деталях изложения каждой из теорий.

Книга представляет вводный курс теории фракталов и хаоса; рассматривает вопрос о том, как некоторые фракталы (аттракторы систем интегрированных функций) могут породить хаос. В отличие от традиционного подхода *теорема—доказательство—пример—задача* большую роль при изучении фракталов и хаоса играет компьютерное модели-

рование. Большинство студентов впервые узнают о существовании фракталов, увидев потрясающие воображение картинки на дисплее. В книге компьютерные эксперименты и теория объединены, для чего в нее включены 20 алгоритмов. Кратко изложены введение в теорию множеств, аффинные преобразования, метрические пространства, множества Кантора и кривые Пеано.

В основу книги лег курс, который автор читал в Миссурийском университете (г.Колумбия, США) в 1989—1993 гг.

**Математика**

**Ю.А.Данилов.** ЛЕКЦИИ ПО НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКЕ. ЭЛЕМЕНТАРНОЕ ВВЕДЕНИЕ. М.: Постмаркет, 2001. 184 с.

Нелинейная динамика — раздел современной математики, занимающийся исследованием динамических систем. Это системы любой природы (физической, химической, биологической, социальной, экономической и т.д.), состояние которых изменяется (дискретно или непрерывно) во времени. Нелинейная динамика используется при изучении систем нелинейные модели — чаще всего дифференциальные уравнения и дискретные отображения.

Книга представляет курс лекций, прочитанных автором за последние годы в МИФИ, МГУ и университетах Западной Европы. Подробно изложены дискретные отображения и теория непрерывных систем, хаотическое поведение, фрактальная и эргодическая теории.

Отличительной особенностью курса является конкретность (упрощение формул до вида, удобного для практических расчетов) и точное изложение основных понятий, обычно приводимых без определений.

**Ботаника**

**А.П.Меликян, А.Г.Девятов.** ОСНОВНЫЕ КАРПОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ: Справочник. Под ред. проф. Л.И.Лотовой. М.: КМК, 2001. 47 с.

Карпология — учение о строении и развитии плодов и семян цветковых растений. Существует несколько классификаций плодов, авторы которых используют разнообразные термины, понятные даже не всем биологам.

Острая необходимость в справочнике возникла при подготовке многотомной сводки по сравнительной карпологии представителей всех семейств цветковых растений, а также при чтении специальных курсов «Морфология репродуктивных органов цветковых растений» и «Репродуктивная биология семенных растений» на кафедре высших растений Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. Подобной сводки в мировой литературе до сих пор не было.

Книга представляет собой справочник определений, понятий и характеристик, широко используемых при карпологических исследованиях. Он объясняет термины, которые используют не только для описания собственно плодов и семян, но также процессов, обуславливающих их образование и способствующих диссеминации, распространению и развитию растений.

**Энтомология**

**Л.В.Каабак, А.В.Сочивко.** БАБОЧКИ МИРА. Под ред. В.А.Володина. М.: АВАНТА+, 2001. 184 с. (Самые красивые и знаменитые)

Вышла книга, в которой описано более 100 самых красивых бабочек мира. Рассказано об особенностях биологии (строении, размножении и развитии, питании и поведении бабочек, основных этапах их эволюции, путях приспособления к окружающей среде) и истории открытия каждого вида, а также даны карты их мест обитания. Особая статья посвящена коллекционированию бабочек, крупнейшим собраниям в музеях мира.

Книга прекрасно иллюстрирована. Для каждого вида при-

ведены фотографии коллекционных экземпляров (в некоторых случаях самцов и самок). Это не только солидный справочник, но и увлекательное чтение. Книга написана живым языком, в ней собраны отрывки из поэзии и прозы, посвященной бабочкам.

Первый автор — доктор химических наук, член Энтомологического общества Российской академии наук и Московского общества испытателей природы. Много путешествовал, был в составе экспедиций на Памир, Тянь-Шань, и др. Обнаружил и совместно с коллегами описал несколько новых видов и подвидов высокогорных бабочек.

Второй автор — известный фотограф и художник.

**Геология. Минералогия**

**Д.Ю.Пуцаровский.** РЕНТГЕНОГРАФИЯ МИНЕРАЛОВ. М.: ЗАО Геоинформмарк, 2000. 292 с.

Основоположник российской школы рентгеноструктурного анализа кристаллов академик Н.В.Белов считал, что положение структурной кристаллографии среди других наук можно сравнить с центром треугольника, в вершинах которого находятся физика, химия и минералогия.

Полученная в течение последних 90 лет кристаллохимическая информация способствовала развитию многих научных дисциплин. Однако ее наиболее весомый вклад отмечен в минералогии, где методы рентгеновской дифракции играют ключевую роль в исследованиях состава и структуры минералов.

В книге дается описание весьма разнообразных физических явлений, сопровождающих процессы рассеяния ди-



фракции рентгеновских волн в кристаллах, без привлечения сложного математического аппарата. Рассматриваются природа и свойства рентгеновских лучей, излагаются подходы к решению ряда практических задач рентгенографии минералов. Представлены основные принципы теории рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах и теоретические основы рентгеноструктурного анализа, а также его новые приложения для решения важнейших проблем современной геологии и минералогии.

Книга написана на основе курса лекций по рентгенографии минералов, читаемого на геологическом факультете Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова.

### **Геодинамика**

**С.В.Аплонов.** ГЕОДИНАМИКА: Учебник. СПб.: Изд-во ун-та, 2001. 360 с.

Геодинамика — наука о физической сущности процессов эволюции твердой Земли. Конечная ее цель — на основе известных геолого-геофизических фактов, используя фундаментальные законы физики и современный математический аппарат, построить цельную модель эволюции нашей планеты.

Учебник основан на лекциях автора, читаемых в течение 10 лет на геологическом факультете Санкт-Петербургского государственного университета. Он значительно расширен по сравнению с учебным пособием «Геодинамика», которое издано в 1993 г. Существенно дополнены главы и разделы, посвященные происхождению Земли, ее глубинному строению и составу, геотермии и геохронологии, ран-

ней (докембрийской) истории, мантийной конвекции, геологии Мирового океана, эволюции континентальной коры. В отдельной главе рассказывается о проблемах глобальной энергетики и периодизации тектонической активности нашей планеты.

Автор стремился свести к минимуму использование формул при максимально строгом и ясном изложении основных понятий.

### **История науки**

**Я.А.Сморodinский.** ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ. Под ред. Ю.А.Данилова, В.Г.Кадышевского, А.Н.Сисакян. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 568 с.

Профессор Яков Абрамович Смородинский (1917—1992) — выдающийся советский физик, автор ряда работ по квантовой механике и ядерной физике, некоторые из них стали классическими. Однако Смородинский — не просто физик, но ученый-энциклопедист. Он был членом редколлегии многотомного издания «Классики науки», одним из основателей журнала «Квант» и ответственным редактором собрания научных трудов Альберта Эйнштейна, Вольфганга Паули, работал над подготовкой трудов Вернера Гейзенберга. Он был человеком разнообразно образованным: знал очень многое — от науки до искусства.

На протяжении десятилетий, по третьим пятницам каждого месяца, в Институте атомной энергии им.И.В.Курчатова проходили семинары под руководством Смородинского. Слушателям предоставлялась редкая возможность познакомиться с последними достижениями физики не в пересказе, а из уст самих участников событий, «специа-

листов класса А», по классификации Якова Абрамовича.

Сборник включает избранные работы Смородинского, воспоминания о нем друзей, учеников и коллег, а также список трудов ученого. Книга иллюстрирована фотографиями из семейного архива.

### **История науки. Техника**

**В.П.Борисов.** ВАКУУМ: ОТ НАТУРФИЛОСОФИИ ДО ДИФФУЗИОННОГО НАСОСА. М.: НПК «Интелвак», 2001. 144 с.

Представление о пустоте, или вакууме, встречается еще в трудах древнегреческих натурфилософов: Левкиппа, Демокрита, Эпикура и др. Предыстория вакуумной техники закончилась в середине XVIII в. с изобретением первых вакуумных насосов, часто называемых воздушными. Их изобретение тесно связано с важным событием в науке — открытием атмосферного давления.

В книге описаны первые вакуумные насосы, а также научные опыты в среде разреженного газа. Рассмотрено начало промышленного использования вакуумной техники (конец XIX в.), связанное с появлением и развитием производства электрических ламп накаливания и электронных приборов. Особое внимание уделено анализу теоретических предпосылок (молекулярно-кинетической теории газов). Указано, что одной из наиболее перспективных областей применения вакуумной техники в будущем станет технологическое оборудование для производства микросхем с высокой степенью интеграции.

В книгу включены старинные гравюры и чертежи вакуумных насосов.

# «Проводились наблюдения всякого рода»

## К истории русских гидробиологических исследований Средиземного моря

С.М.Игнатъев,

кандидат биологических наук

Институт биологии южных морей им.А.О.Ковалевского  
Севастополь (Украина)

Традиционно Российская Империя рассматривала регион Средиземноморья как зону особых геополитических интересов, а овладение проливами Босфор и Дарданеллы считала своей главной стратегической целью. Первоочередной задачей в будущем конфликте с Турцией стало предотвращение прорыва англо-французского флота в Черное море, как это уже было во время Крымской войны (1854—1855). Именно угроза такого прорыва заставила Россию отказаться от жестких требований после победоносной войны 1877—1878 гг. Поэтому с 1878 г. здесь постоянно присутствовала русская отдельная эскадра [1]. Естественно, что командование русского флота стремилось получить максимально подробную информацию о Средиземном море как возможном районе боевых действий, о котором «следует знать гораздо больше, чем известно в данный момент» [2].

Между тем регион длительное время исследовался английскими («Травайлер», «Вашингтон» и «Челленджер», 1889—1892) и австрийскими («Терта», 1880; «Пола», 1890—1893; «Торус», 1894) судами, что было неприемлемо для России. Еще в 1856 г. специальной инструк-

цией всем русским судам предписывалось тщательно проводить промеры и съемку берегов, особенно в портах, бухтах и гаванях. Одновременно русские морские офицеры изучали грунты, метеорологические и навигационно-гидрографические условия. Правительство даже пошло на организацию совместных русско-турецких экспедиций. В 1845 г. на боевых кораблях турецкого флота (корвете «Гюль-Сефит» и шхуне «Мистика») 11 русскими офицерами под руководством М.П.Манганари была проведена гидрографическая экспедиция в Мраморном море, по материалам которой составлена его первая русская лоция. В 1850 г. турецкие бриги «Неир Зафер» и «Яувей-Фит» вместе с русскими тендерами «Скорый» и «Поспешный» составили описание турецкого побережья. В 1859—1860 гг. русская шхуна «Соук-су» и турецкий фрегат «Андрополь» проводили совместную магнитную съемку Мраморного и Черного морей.

Однако отечественные биологические исследования в регионе длительное время ограничивались краткосрочными командировками специалистов на средиземноморские биологические станции (французские и итальянские). Министерство народного просвещения России ежегодно, сроком на два месяца, арен-

довало для естествоиспытателей рабочих с Неаполитанской зоологической станции, выплачивая им 1120 руб. в год. По мнению А.О.Ковалевского, эти средства с большей пользой могли быть использованы для русских морских станций. Только в середине 80-х годов Морское ведомство заинтересовалось гидробиологическими работами. Это проявилось как в создании первой русской морской зоологической станции на Средиземном море в Вилла-Франко (1884—1886), так и в организации крупномасштабных экспедиционных исследований (1894). Морское ведомство не только безвозмездно передало Вилла-Франкской станции Киевского университета землю и здание, но и фактически содержало ее вплоть до 1914 г.

Толчком послужили гидрологические работы С.О.Макарова\* по изучению водообмена между Черным и Мраморным морями через Босфор. Назначенный

\* Макаров Степан Осипович (1849—1904) — русский флотоводец, вице-адмирал, путешественник и океанограф. Участник русско-турецкой войны 1877—1878 гг. За работу «О водообмене Черного и Средиземного морей» удостоен премии им.Митрополита Макария Императорской академии наук (1887). Командуя корветом «Витязь», совершил кругосветное плавание, во время которого вел систематические наблюдения за температурой, плотностью воды, системой течений. Награжден золотой медалью Императорского Русского географического общества.

в октябре 1881 г. командиром русского стационара «Тамань»\* [3], Макаров начал изучение течений в проливе Босфор. Работы продолжались с ноября 1881 г. по сентябрь 1882-го, причем большинство приборов было изобретено им самим. Основным результатом исследований стало открытие в Босфоре двух течений: верхнего — из Черного моря в Мраморное (из-за разности в уровне морей) и нижнего — из Мраморного в Черное (за счет разницы в удельном весе морской воды). Между ними существует промежуточный нейтральный слой, называемый макаровским.

Однако первым, кто предположил существование интенсивного водообмена через Босфор и Дарданеллы, был член Русского географического общества, профессор М.И.Венюков [4]. Еще в 1874 г. он внес в Общество памятную записку о необходимости научных изысканий в проливах. В случае невозможности прямых наблюдений из-за противодействия турок Венюков предлагал изучать водообмен путем сравнения морских фаун, т.е. фактически использовать биологические индикаторы для оценки гидрологической обстановки. Дальнейшие гидробиологические исследования (1891—1895), основанные на работах Макарова, доказали их правильность.

Первые русские экспедиционные изыскания в Средиземном море, в которых проводились значительные по объему биологические работы, относятся к 1889 г. Тогда в Средиземное море через Суэцкий канал вошел русский парусно-винтовой корвет «Витязь»\*\* под ко-



А.А.Остроумов.

мандованием капитана 1-го ранга Макарова.

Корвет возвращался в Россию после кругосветного плавания (1886—1889). В течение полутора месяцев (с 13 марта по 4 мая 1889 г.) в Средиземном море, наряду с отработкой боевых учений, проводились комплексные исследования. Макаров в отличие от большинства «академических» естествоиспытателей был сторонником использования боевых кораблей: «Изучение окружающей моряка морской стихии не только не вредит военному назначению судов, но, напротив, пробуждая мысль, отрывает людей от рутинной судовой жизни» [5]. В результате установлено существование верхнего и нижнего течений в Гибралтарском проливе, направленных из Атлантики в Средиземное море, и наоборот. Биологические работы выполнены судовым врачом, доктором медицины С.В.Шидловским. Силами команды изготовлены сети и драги. Русские биологические изыскания, продолженные в 1894—1895 гг., дали количественную оценку подводной жизни у берегов Греции. К сожалению, их результаты никогда не обобщались.

В силу сложившихся традиций гидробиологические исследования сводились к сбору коллекций и гербариев, которые по прибытию в порты поступали к специалистам для дальнейшей обработки и растворялись в многочисленных публикациях. Кроме того, сборы часто носили случайный характер. Опыт отечественных и зарубежных исследователей требовал наличия на борту специалиста-биолога, способного не только собирать, но и обрабатывать материал в экспедиционных условиях с последующим его обобщением. Это вошло в практику экспедиций Морского ведомства 1890—1897 гг., в которых принимал участие А.А.Остроумов\*\*\*.

Русским исследованиям в Средиземном море способствовала уникальная международная обстановка, сложившаяся в начале 90-х годов. Перед лицом общего врага (Англии) Турция пошла на некоторые уступки России, разрешив, в частности, проведение научных изысканий. Этот редкий и непродолжительный период нормализации русско-турецких отношений оказался плодотворным для отечественной морской науки. С 1889 г. на территории Турции, в Буюк-Дере, начала работу русская метеорологическая станция, в 1890—1891 гг. группа офицеров, осматривавших предпроливные укрепления, доставила в Академию наук богатую коллекцию горных пород [6].

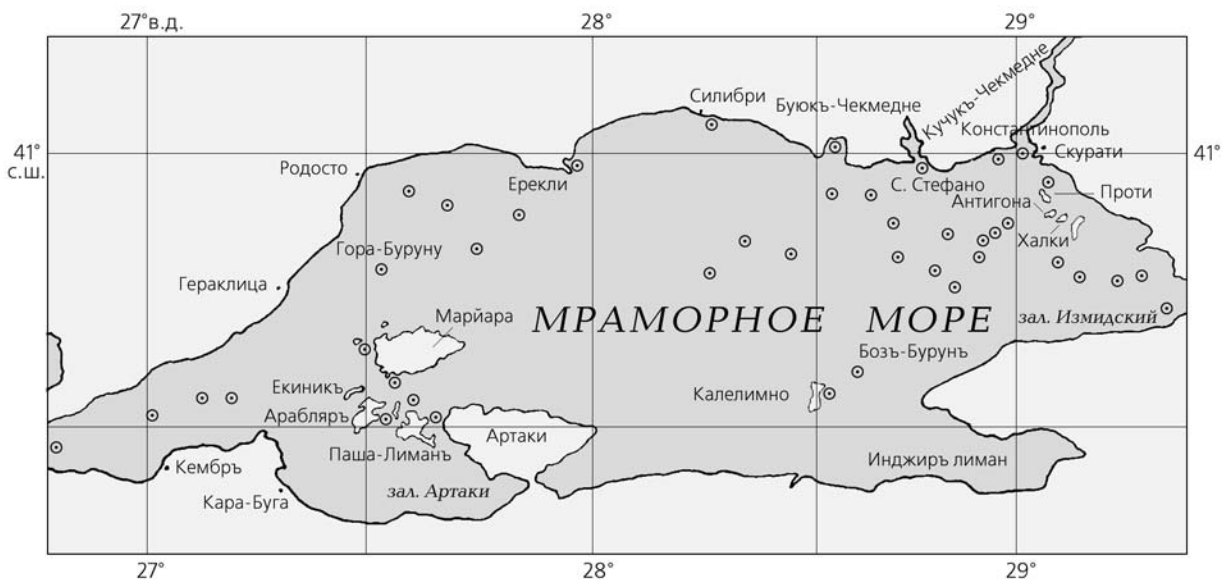
Летом (июль—август) 1892 и 1893 гг. Остроумов по заданию Императорской академии наук и при содействии Морского ведомства предпринял поездки на Босфор, носившие рекогносцировочный характер [7]. Официально стояла цель — «проведе-

\* Стационар — корабль военного флота, находящийся с дипломатической миссией в водах иностранных государств. «Тамань» — колесный пароход Черноморского флота. Заложен в 1847 г.

\*\* «Витязь» — корвет (с 1892 г. — крейсер 1-го ранга) Балтийского флота. Построен под руководством известного кораблестроителя П.А.Титова в Санкт-Петербурге. С 1891 г. — в составе Тихоокеанской эскадры. Разбился на камнях во время шторма 28 апреля 1893 г. у побережья Кореи.

\*\*\* Остроумов Алексей Александрович (1858—1925) — русский зоолог, профессор Казанского университета, заведующий Севастопольской биологической станцией в 1891—1897 гг. Участник экспедиций, организованных Морским ведомством в Черное (1891), Азовское (1891), Мраморное (1894) и Каспийское (1897) моря. Один из основателей зоогеографического направления в отечественной гидробиологии.





Маршрут станций, выполненных на пароходе «Селяник». Мраморное море. 1894 г.

ние систематических драгировок в разных пунктах пролива, соединяющих два замкнутых моря» (Мраморное, с его нормальной соленостью, и опресненное Черное). Со специально нанятого яла были выполнены более 100 драгировок и 250 планктонных ловов непосредственно в Босфоре и в Мраморном море. В ходе этих работ удалось установить, что распределение планктона и бентоса в Босфоре и прибрежных районах полностью соответствует описаниям Макарова. В Босфоре фауна обоих морей соответствует разделению вод: на глубине, в тяжелой морской воде нормальной солености (зоне глубинного течения из Мраморного моря в Черное), обитают средиземноморские виды. В опресненных верхних слоях (поверхностном течении из Черного моря в Мраморное) и вдоль берега доминирует типичная черноморская фауна. Фактически Остроумов одним из первых предпринял попытку идентифицировать водные массы и отследить течения по видовому составу фауны, применив на практике систему видов-индикаторов. Кроме того, ему уда-

лось в Босфоре и в Мраморном море обнаружить полуископаемые остатки моллюсков тех же видов, что были найдены Н.И. Андрусовым в 1891 г. во время экспедиции «Черноморца» [8]. Полученные данные позволяли предполагать, что Мраморное море представляет собой переходную зону между полупресным, лишенным жизни на больших глубинах Черным морем и Средиземным с нормальной океанской соленостью. Но не был выяснен вопрос: существует ли жизнь на больших глубинах Мраморного моря, или оно, как и Черное, заражено сероводородом?

В 1892 г. Русское географическое общество приняло решение ходатайствовать об организации экспедиции в Мраморное море по типу Черноморских глубоководных. Программа была утверждена зимой 1893 г. на совместной комиссии Географического общества (П. Семенов-Тянь-Шанский и Н. Андрусов), Морского ведомства (С. Макаров и Ю. Шокальский) и Академии наук (А. Ковалевский и Н. Карпинский). В экспедиции планировалось [9]:

1. Выполнение промерных работ и изучение рельефа дна. Это позволило бы значительно уточнить существовавшие английские карты.

2. Измерения температуры и солености морских вод на поверхности и в глубинах. Метеорологические наблюдения. Изучение основных течений и общей циркуляции вод, особенно в проливах. Подтверждение теории Макарова о двойственном характере течений в Босфоре и Дарданеллах.

3. Изучение геологического строения дна Мраморного моря.

4. Фаунистические исследования планктона и бентоса Мраморного и Черного морей.

Особую заинтересованность в проведении экспедиции высказал управляющий Морским ведомством Н. М. Чихачев, являвшийся к тому же почетным членом Географического общества. Его распоряжением ведомство взяло на себя львиную долю финансовых затрат. По разрешению Главного командующего Черноморским флотом Н. В. Копытова будущая экспедиция получила из запасов Севастопольского порта тросы и блоки, не-

обходимые для заборных работ. Этим же распоряжением передали все хранившееся в Николаеве оборудование Глубомерных экспедиций 1890—1891 гг. (лот Томсона, аккумуляторы, динамометры, а также глубоководные драги и трал). Специально для исследований в Мраморном море закупили за границей новые, более совершенные приборы для океанографических изысканий — батометры, термометры. Оборудование для сбора зоологического материала — сети большие и малые для вертикальных и горизонтальных ловов, трал, драги — предоставила Севастопольская биологическая станция. Имущество экспедиции было доставлено в Константинополь бесплатно.

Решение организационных вопросов с турецкими властями было поручено действительному тайному советнику А.И.Нелидову, почетному члену Русского географического общества. Благодаря его влиянию удалось добиться поддержки проекта со стороны султана Абдул-Гамида II. Было подготовлено соответствующее межправительственное решение, согласно которому турецкая сторона предоставляла судно, команду и осуществляла контроль за выполнением научных программ, а русская выполняла все научные задачи. Отдельно оговаривались вопросы передачи материалов и публикации результатов экспедиции.

Для экспедиции (на период с 8 сентября по 8 октября 1894 г.) личным распоряжением султана был выделен коммерческий пароход «Селяник»\*, которым командовал кадровый морской офицер — лейтенант турецкого флота Сулейман. Пароход мог принять на борт значительное число пассажиров, имел обшир-

ные трюмы и был оснащен тремя паровыми лебедками, с которых с «большим удобством» проводились глубоководные драгировки. Силами русских ученых в кормовом грузовом трюме были оборудованы физико-химическая и зоологическая лаборатории, а также помещение для коллекций. Команда парохода, состоявшая из 10 «вольных» матросов, была дополнена 20 матросами турецкого военного флота во главе с лейтенантом Эдгем-Эфенди. Они обеспечивали выполнение всех заборных работ. Представителем султана в экспедиции являлся адъютант Морского ведомства корвет-капитан Игсан-Бей. Русская часть экспедиции состояла в большинстве своем из участников Глубомерных экспедиций 1890—1891 гг. В нее входили заведующий отделением морской метеорологии в Главном гидрографическом управлении флота подполковник И.Б.Шпиндлер, его помощник лейтенант А.И.Варнек (Морское ведомство), заведующий Севастопольской биологической станцией доктор зоологии А.А.Остроумов, магистрант Новороссийского университета А.А.Лебединцев (химические исследования) и приват-доцент Санкт-Петербургского университета Н.И.Андрусов от Географического общества. От русского консульства в рейсах участвовал переводчик Г.Везиров, который по собственной инициативе помогал в драгировках. Общее руководство глубинными работами осуществлял Андрусов.

6 сентября 1894 г. «Селяник» вышел из Константинополя и уже через два дня начал работы. В целом, экспедиция проходила в четыре этапа продолжительностью четыре—шесть дней. За это время выполнены 62 комплексные станции, из них 23 — на глубинах свыше 100 саженьей. Каждая станция включала в себя определение глубины, драгировку, измерения температуры, солености и удельного веса морской воды по горизонтам, планктонные ловы. К сожалению,

турецкая сторона запретила проведение исследований в припроливных районах, а ряд работ пришлось исключить из-за эпидемии холеры.

Даже предварительный анализ собранной информации позволил изменить существовавшие взгляды на природу Мраморного моря. По материалам экспедиционных исследований детально описаны рельеф дна (открыты три котловины с глубинами свыше 1000 м), характер распределения температуры и солености морской воды. Доказано, что глубины Мраморного моря (в отличие от Черного) не заражены сероводородом и богаты жизнью, имеющей до самых больших глубин достаточно однородный характер. Остроумову удалось собрать биологические коллекции морских животных и составить их подробные описания с данными о местах поимки и глубинах обитания. Из его материалов следует, что основа фауны Мраморного моря — средиземноморские виды. Этого следовало ожидать, исходя из схемы течений, выполненной Макаровым. Причем доминируют только те виды, которые смогли преодолеть относительно мелководный барьер, отделяющий Мраморное море от Эгейского. Поэтому фауна здесь сильно обеднена, многие типичные для Средиземного моря животные отсутствуют. По своему фаунистическому составу Мраморное море значительно ближе к Средиземному, чем к Черному. Влияние последнего прослеживается в планктоне поверхностных вод. С глубиной, напротив, наблюдается обогащение фауны видами, «чуждыми Черному морю». Полученные биологические результаты позволили сделать ряд важных зоогеографических обобщений и обосновать новые представления об истории формирования фауны Черноморско-Средиземноморского бассейна. В дополнение к принятой программе были проведены

\* «Селяник» — грузо-пассажирский пароход турецкого Добровольного флота. Бывший русский коммерческий пароход «Севастополь» товарищества «Новороссийское пароходство» (Одесса). Продан Турции в 1890 г. Селяник — от турецкого названия города Салоники, по другим источникам — от «селям-лик» — общая часть турецкого дома.

детальные исследования морского дна в предполагаемом эпицентре Константинопольского землетрясения, которое произошло 10 июня 1894 г. Отдельные его толчки прослеживались и во время экспедиционных работ. Отсутствие в пробах грунта следов извержений позволило Андрусову сделать вывод о его невулканическом характере. Результаты экспедиции вызвали большой интерес как в России, так и в Турции, отчеты были представлены непосредственно султану. Остроумов пе-

редал турецкой стороне коллекции «удивительных габитусом и колоритом» глубоководных животных.

Исследования, выполненные русскими естествоиспытателями в Средиземном и Мраморном морях, подтвердили существование единой системы морей и проливов с общим гидрологическим режимом. Их материалы были использованы в 1895—1897 гг. для составления планов активных минных барьеров в Мраморном море в случае конфликта между Россией,

с одной стороны, и Англии с Турцией — с другой. Эти заграждения из «специальных сферических мин, годных к установке при сильных течениях» [10], должны были противодействовать прорыву англо-турецкого флота в Черное море. В Турцию для изучения приборосфорских течений был вызван известный немецкий океанограф А. Мерц. На основании прямых инструментальных изысканий он подтвердил выводы Макарова о существовании двух течений в Босфоре. ■

## Литература

1. Золотарев В.А., Козлов И.А. Российский военный флот на Черном море и восточном Средиземноморье. М., 1987.
2. Шокальский Ю. Океанография. Пг., 1917.
3. Ганопольский Л.Е. Краткие сведения о кораблях, судах и катерах Черноморского флота, участвовавших в гидрографических работах (1696—1990). Севастополь, 1996.
4. Любина Г.И. Михаил Иванович Венюков в эмиграции // Природа. 2001. №2. С.92.
5. Макаров С.О. О водообмене вод Черного и Средиземного морей // Зап. Императ. акад. наук. СПб., 1885. Т.51.
6. Андрусов Н.И. Мраморное море // Зап. Императ. акад. наук. СПб., 1893. Т.72.
7. Остроумов А.А. Дальнейшие материалы к естественной истории Босфора // Зап. Императ. акад. наук. СПб., 1894. Т.74.
8. Игнатьев С.М. Удивительный морской водоем // Природа. 2001. №5. С.92.
9. Андрусов Н.И. Экспедиция «Селяника» на Мраморном море // Зап. Императ. Рус. геогр. об-ва по общей географии. СПб., 1896. Т.33. Вып.2. С.153—171.
10. Остроумов А.А. Отчет о драгировках и планктонных уловах экспедиции «Селяника» // Изв. Императ. акад. наук. СПб., 1896. Т.5. С.34—98.

# 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**  
**Л.М.ФЕДОРОВА**

Графика, верстка:  
**Д.А.БРАГИН**

Свидетельство о регистрации  
№1202 от 13.12.90

Учредители:  
Президиум РАН,  
Издательско-производственное  
и книготорговое  
объединение «Наука»  
Адрес издателя: 117997,  
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,  
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (095) 238-26-33  
Подписано в печать 14.02.2002  
Формат 60×88 1/8  
Бумага типографская №1,  
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,  
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2  
Заказ 5410  
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»  
Академиздатцентра «Наука» РАН,  
121099, Москва, Шубинский пер., 6