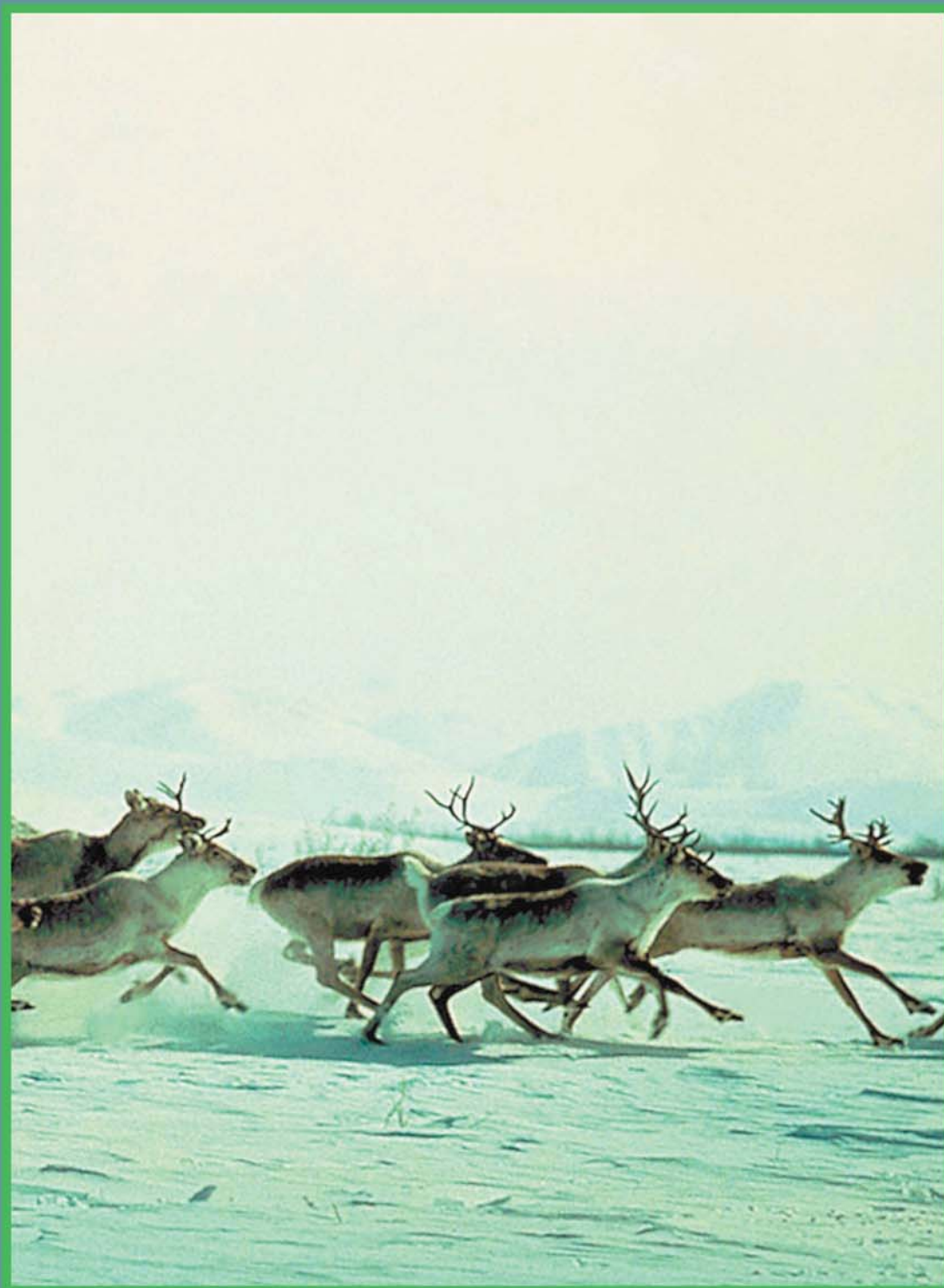


# ПРИРОДА

2001 11



**В НОМЕРЕ:**

- 3** **Жомотт А.**  
**Диспут в Брюсселе о судьбе плутония**

**Калейдоскоп**

- 10**  
«Магнит», указывающий на «марсиан» (10). – Пингвин подает клич (10). – Скандал в японской археологии (34). – «Усмирение» вулкана Келуд (34). – Япония открывает музеи (49). – Спутники следят за состоянием лесов и ядерных объектов (61).

- 11** **Цветков Ю.П., Ротанова Н.М.**  
**Дистанционное сканирование земной коры**

*При изучении процессов, происходящих в самых глубоких слоях земной коры, успешно применяется измерение магнитных полей азростатными магнитоградиентометрами.*

**Научные сообщения**

- 20** **Басов И.А.**  
**Бассейн Вудларк – модель для изучения процессов растяжения и раскола земной коры (180-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)**

- 22** **Берман Д.И.**  
**Тундростепи плейстоценовой Берингии и современные насекомые**

*Равнины Берингии населяли тундровые и степные животные. Какими же были ландшафты и климат, позволяющие совместить, казалось бы, несовместимое?*

- 35** **Волков П.К.**  
**Конвекция в жидкости на земле и в космосе**

*Квазистатической компонентой микрогравитации в космическом полете обычно пренебрегают. Однако именно она, а не вибрационная составляющая, определяет особенности тепломассопереноса в жидкостях.*

- 43** **Демченко П.Ф., Величко А.А., Голицын Г.С., Елисеев А.В., Нечаев В.П.**

**Судьба вечной мерзлоты: взгляд из прошлого в будущее**

*Оценки мерзлотно-климатических условий XXI в., полученные по моделям климата нового поколения, совпали с данными палеогеографических реконструкций теплых эпох прошлого.*

**Заметки и наблюдения**

- 50** **Иорданский Н.Н.**  
**Проблема происхождения хордовых**  
**Несис К.Н.**  
**И у медуз бывают мутанты (59)**

- 52** **Дьяков Ю.Т., Багирова С.Ф.**  
**Что общего в иммунитете растений и животных?**

**Биография современника**

- 62**  
**СКАЖИ МНЕ, КТО ТВОИ ДРУЗЬЯ...**  
К 75-летию Давида Абрамовича Киржиница  
**Болотовский Б.М.**  
**Больше сорока лет рядом (62)**  
**Киржиц Д.А.**

**Там, где будет город Челябинск-40 (70)**

**Новости науки**

- 77**  
Планеты без звезд. **Вибс Д.З.** (77). – В космосе – очередная странность (77). – Новое измерение аномального магнитного момента мюона. **Комар А.А.** (78). – Углеродные нанотрубки в рентгеновском аппарате (79). – К унификации высшего образования (80). – Учись, глядя на маму (80). – Где начиналось скотоводство? (80). – Новый взгляд на биоразнообразие (81). – Судьба лесов Индонезии (81). – Год после указа – период «полураспада». **Жукова Е.Е.** (82). – Деформации коры в районе Коринфского залива (82). – В сердце абиссального шторма (83). – Снова о динозаврах Приамурья. **Курочкин Е.Н., Алифанов В.Р., Болотовский Ю.Л.** (83). – Прочитаны древнеримские документы (84).

**Рецензии**

- 85** **Калякин В.Н.**  
**Последний том уникального издания**

**Новые книги**

- 89**  
**Встречи с забытым**  
**90** **Игнатъев С.М.**  
**Флот окажет нравственное содействие**

**CONTENTS:**

- 3 Zhomott A.**  
**A Brussels Debate on the Future of Plutonium**

**10 Kaleidoscope**

A Magnet Pointing to Martians (10). The Penguin Gives a Call (10). — A Scandal in Japanese Archaeology (34). — The Taming of Kelut Volcano (34). — Japan Is Opening Museums (49). — Satellites Monitoring the State of Forests and Nuclear Facilities (61).

- 11 Tsvetkov Yu.P. and Rotanova N.M.**

**Remote Sensing of the Earth's Crust**

*While studying the processes operating deep within the crust, balloon-borne magnetic gradiometers are successfully used to measure magnetic fields.*

**Scientific Communications**

- 20 Basov I.A.**  
**The Woodlark Basin as a Model for Investigating Crustal Extension**  
(180th Cruise of the JOIDES Resolution)

- 22 Berman D.I.**  
**Tundra-Steppe of Pleistocene Beringia and Modern Insects**

*In the Pleistocene, the plains of Beringia were inhabited by both tundra and steppe animals. What were the landscapes and climate that could bring together these seemingly incompatible creatures?*

- 35 Volkov P.K.**  
**Convection in Liquid on Earth and in Outer Space**

*The quasi-static component of microgravity during a space flight is usually neglected. However, it is this rather than the vibrational component that controls the pattern of heat and mass transfer in liquids.*

- 43 Demchenko P.F., Velichko A.A., Golitsyn G.S., Eliseev A.V., and Nechaev V.P.**  
**The Fate of Permafrost: A Glance from the Past into the Future**

*Estimates of the 21st century permafrost climate conditions derived from a new generation of climate models have coincided with paleogeographic reconstructions of past warm epochs.*

**Notes and Observations**

- 50 Iordansky N.N.**  
**The Problem of the Origin of Chordates**

**Nesis K.N.**

**Medusas, Too, Have Mutants (59)**

- 52 Dyakov Yu.T. and Bagirova S.F.**  
**What Are the Common Features of Plants' and Animals' Immunity?**

**Biography of our Contemporary**

- 62 TELL ME WHO YOUR FRIENDS ARE...**  
On the 75th Anniversary of the Birth of David Abramovich Kirzhnits

**Bolotovskiy B.M.**

**Over 40 Years Side by Side (62)**

**Kirzhnits D.A.**

**Where the Town of Chelyabinsk-40 Will Stand (70)**

**Science News**

- 77 Planets without Stars. Wiebe D.Z. (77).** — Yet Another Space Oddity (77). — A New Measurement of the Anomalous Magnetic Moment of Muons. **Komar A.A. (78).** — Carbon Nanotubes in an X-Ray Apparatus (79). — A Contribution to the Unification of Higher Education (80). — Learn by Looking at Mom (80). — Where Did Cattle Raising Originate? (80). — A New Look at Biodiversity (81). — The Fate of Indonesian Forests (81). — One Year after the Decree: A Decay Period. **Zhukova E.E., (82).** — Crustal Deformations in the Gulf of Corinth Area (82). — In the Heart of an Abyssal Storm (83). — Dinosaurs of the Amur Area Revisited. **Kurochkin E.N., Alifanov V.R., Bolotsky Yu.L. (83).** — Ancient Roman Documents Deciphered (84).

**Book Reviews**

- 85 Kalyakin V.N.**  
**The Last Volume of a Unique Edition**

**New Books**

- 89 Encounters with the Forgotten**  
**90 Ignatyev S.M.**  
**The Fleet Will Lend Moral Support**

# Диспут в Брюсселе о судьбе плутония

Решение Думы о снятии запрета на ввоз в Россию отработанного ядерного топлива вызвало широкий общественный резонанс. К сожалению, в сопутствующих дискуссиях эмоциональная компонента зачастую преобладала над рациональной. Формирование объективного мнения требует прежде всего достаточного уровня информированности. На своих страницах мы не раз предоставляли слово различным отечественным специалистам, занимающимся так называемой плутониевой проблемой. А каковы взгляды на нее в международном сообществе? Об этом позволяет судить рассказ о представительном форуме одного из его авторитетных участников, барона А.Жомотта. Некоторые моменты, которые могут быть непонятны читателю, любезно согласился пояснить по ходу статьи другой участник конференции – первый заместитель министра РФ по атомной энергии, В.Б.Иванов. Его примечания даны на цветном фоне.

## А.Жомотт

С 9 по 11 октября 2000 г. более 300 представителей разных областей науки собрались в Брюсселе, чтобы принять участие в международной конференции «Плутоний-2000». Посвященная будущему этого уникального элемента, она была организована Бельгийским ядерным обществом (Belgian Nuclear Society) и поддержана аналогичными обществами Европы, США, России и Японии. Участники планировали обсудить проблемы:

- рост запасов очищенного плутония в результате переработки коммерческого ядерного топлива и сокращения ядерного вооружения;

- потенциальная ценность и опасность, которые эти запасы представляют;

- технические варианты обращения с данными материалами;

- политические решения, необходимые для их реализации.

© А.Жомотт



Барон **Андрэ Жомотт** (André Jaumotte), почетный председатель международной конференции «Плутоний-2000», президент ассоциации «Бельгийская ядерная промышленность». Был ректором и президентом Свободного университета Брюсселя.

## Современная ситуация: мировые запасы плутония

Некоторые докладчики и слушатели, присутствовавшие на конференции, высказали обеспокоенность ростом мировых запасов гражданского (в результате деятельности атомных электростанций) и излишком оружейного плутония.

При эксплуатации АЭС на урановом топливе плутоний накапливается в облученном топливе, частично выгорает, частично остается в смеси с недогоревшим ураном-235, матричным ураном-238 и продуктами деления. Суммарное содержание изотопов плутония от Pu<sup>238</sup> до Pu<sup>242</sup> в отработанном топливе легководного реактора составляет около 1%. При ежегодной выгрузке 24 т облученного топ-

лива из одного блока ВВЭР-1000 получается, что реактор производит примерно 240 кг энергетического, или гражданского, плутония в год.

Плутоний — радиоактивное вещество, опасное для здоровья; его хранение, транспортировка, утилизация сопряжены с финансовыми и техническими трудностями и требуют принятия особых мер безопасности\*. По данным Йор-сан Чой (МАГАТЭ), запасы гражданского плутония последние несколько лет быстро росли и сейчас превышают 200 т. Доктор Чой подчеркнул различия между странами, имеющими программы использования плутония, где его запасы скоро достигнут пика и начнут постепенно снижаться, и странами, у которых таких программ нет и где переработка сводится лишь к выделению плутония из отработанного топлива, — там запасы будут расти.

Что касается оружейного плутония, в настоящее время США имеют запас 99,5 т, российский запас приблизительно вдвое больше.

Это частное мнение автора, не основанное на каких-либо фактических данных.

От части этих объемов страны намерены избавиться. В марте 1995 г. Б.Клинтон объявил о решении изъять из ядерных арсеналов США 200 т делящихся материалов. Б.Н.Ельцин со стороны России в ответ на это обещал постепенно вывести из военных программ около 500 т высокообогащенного урана и до 50 т плутония. 1 сентября 2000 г. было заключено соглашение между вице-президентом США А.Гором и премьер-министром России М.М.Касьяновым, предусматривающее, что каждая сто-

рона примет все меры для сокращения военных запасов плутония не менее чем на 34 т начиная с 2007 г. Прогресс в переговорах по сокращению стратегических вооружений может привести к тому, что еще большее количество оружейного плутония станет лишним, и не только в Америке и России. Так, Великобритания уже заявила, что из ее заметно меньших ядерных арсеналов 4,1 т плутония является излишком.

## Ресурс или отходы?

С тем, что мировые запасы плутония должны быть сокращены, на конференции согласились все. Но как оставить без внимания тот факт, что в 1,2 г способного к делению плутония заключено такое же количество энергии, как и в 1 г урана-235? Так принимать ли плутоний за ресурс или за отходы? В процессе обсуждения стало ясно, что мнения участников конференции по этому поводу расходятся.

Эти дебаты не ограничивались нынешней ситуацией на энергетическом рынке. Подобно приверженцам возобновляемых, но пока дорогостоящих источников энергии (солнца, ветра и др.), сторонники плутония как ресурса отмечали, что, хотя он сегодня и имеет ряд минусов с точки зрения рынка, не использовать вообще его энергетический потенциал нецелесообразно и даже безответственно. Ведь как и уран, плутоний способен стать ограничителем цен на исчерпаемые энергоносители и, плюс к этому, в отличие от урана может обеспечить нас практически неистощимым и возобновляемым источником энергии.

Напротив, сторонники концепции «плутоний — это отходы», подобно К.Эйзенбарт из Протестантского института междисциплинарных исследований (Германия), призывали испробовать все, чтобы гаран-

тировать недостижимость существующего плутония, невозможность его повторного использования и остановку его производства.

Г.Бей из Швейцарской компании НОК выразил мнение, что, если плутоний остается лишь ресурсом, который можно передать будущим поколениям, это налагает серьезную ответственность на долгое время. Плутоний нуждается в системе безопасности в течение значительно большего срока, чем реактор, в котором он был произведен.

Тем не менее на конференции сторонники рассматривать плутоний как ресурс все же численно превосходили защитников точки зрения на плутоний как на отходы.

## Методы ликвидации плутония

Основываясь на двух взглядах на плутоний, имеет смысл обсудить методы, преследующие целью ликвидацию запасов этого радиоактивного вещества. Сегодня есть два способа избавиться от его запасов. Первый — производство на основе плутония топлива и сжигание его в обычных реакторах на атомных электростанциях. Второй — захоронение.

Основной первого способа стал разработанный в конце 50-х годов Бельгийским центром ядерных исследований и компанией «Belgonucleaire» метод производства способной к делению смеси урана и плутония. Метод был назван MIMAS (MIcronized MASTer blend); с 1985 г. данная компания начала промышленное производство топлива по этому методу и произвела порядка 50% всего MOX-топлива. Название MOX (Mixed-OXide fuel)\* получило

\* Подробно о том, что такое MOX-топливо и как его получают, см.: *Меньшикова Т.С., Антитов С.А.* Состояние и перспектива использования MOX-топлива в энергетических реакторах // *Природа*. 1996. №10. С.94—104. — *Примеч. ред.*



топливо, состоящее из диоксидов плутония и урана-238. С того момента, как было установлено, что оно может использоваться в обычных реакторах, многие страны стали его производить и более 30 европейских атомных станций перешли с уранового топлива на смешанное. На конференции в защиту MOX-технологии выступил Ж.Бошар из Французской комиссии по атомной энергии. Представленный на конференции перечень предприятий ядерной энергетики Европы, Японии и США, уже использующих или планирующих использование MOX-топлива, продемонстрировал, что MOX — готовая промышленная технология, дающая надежную стратегию безопасного уничтожения запасов очищенного плутония.

Если часть уранового топлива в реакторе на тепловых нейтронах заменить на MOX, т.е. уменьшить нагрузку по  $U^{235}$ , можно добиться примерно равного количества плутония в загружаемом и выгружаемом материале. А реактор на быстрых нейтронах (например, разработанный институтами Минатома России реактор с натриевым теплоносителем БН-800) способен к полному сжиганию значительного количества плутония любого качества, причем содержание его в топливе может быть заметно больше, чем при работе на тепловых нейтронах. Сегодня разрабатываются новые виды ядерных топлив (например, карбидное, нитридное, с инертной матрицей), допускающие еще более высокие концентрации плутония, чем в MOX-топливе.

Что касается захоронения, то представитель России, заместитель министра по атомной энергии В.Б.Иванов выразил мнение, что если плутоний будет размещен на постоянное хранение в скальных породах, то когда-нибудь люди найдут способ извлечения его из этого хранилища — по сути плутоние-



Завод MOX компании «Belgonucleaire» в г.Дессель.

Здесь и далее фотографии «Belgonucleaire»



Оборудование завода MOX.

вой шахты. Поэтому единственный «реальный» способ ликвидировать запасы плутония — уничтожить, используя его энергетический потенциал в атомной энергетике.

Однако из выступлений на конференции стало ясно, что не обязательно «хоронить» плутоний навсегда: возможны консервация плутония с соблюдением всех мер безопасности

и хранение его в пределах досягаемости, чтобы в будущем, когда технологически смогут обращаться с ним без риска, наши потомки воспользовались его потенциальной энергией. В поддержку такого способа решить проблему плутония высказалась А.Макфарлейн из Массачусеттского технологического института. Она заявила, что консервация, по-видимому, бу-

дет применяться за пределами США, в странах, противящихся переводу реакторов на использование МОХ-топлива, и в случаях, когда включенные в плутоний загрязнения не позволяют использовать его для производства МОХ-топлива. Макфарлейн заявила, что метод консервации в лучшей степени обеспечивает геологическую изоляцию и предотвращает утечку в грунтовые воды, чем использование МОХ-топлива. Однако, как она отметила далее, американская программа консервации излишков оружейного плутония в рамках концепции «банка в канистре» уже столкнулась с проблемой обеспечения цезием в достаточном количестве — для устройства радиационного барьера.

Американская концепция «банка в канистре» («can-in-canister») предполагает для предотвращения несанкционированного доступа и извлечения плутония заливать плутониевую керамику радиоактивным стеклом, содержащим мощный гамма-излучатель цезий-137. Таким образом создается «непроходимый» радиационный барьер на пути к плутонию, такой же эффективный, какой создают продукты деления в облученном МОХ-топливе. Однако залитый стеклом плутоний сохраняет свой исходный оружейный изотопный состав, в то время как в МОХ-топливе, прошедшем через реактор, он теряет «оружейное качество».

Ряд выступающих выражал поддержку обоим решениям. Представитель Департамента по энергии США Л.Холгейт заявила, что для ликвидации излишков оружейного плутония решено одновременно использовать обе технологии — МОХ и консервацию. Это позволит раньше начать ликвидацию плутония и застрахует от возможных трудностей реализации какой-нибудь одной программы. В Департаменте по энергии счита-

ют, что двусторонняя стратегия демонстрирует решимость США сокращать запасы плутония так быстро, как только возможно. 26 т плутония (из своих 34 по соглашению Гора—Касьянова) США намереваются обратить в МОХ-топливо, оставшиеся 8 т законсервировать.

Существующий стандарт отработанного топлива, рекомендованный Национальной академией наук США в 1994 г. в докладе о ликвидации оружейного плутония и принятый впоследствии Департаментом по энергии США, устанавливает, что плутоний должен быть переведен в форму недоступную и/или непривлекательную для использования в качестве ядерного оружия. Однако доктор Макфарлейн заявила в своем выступлении, что в настоящее время Национальная академия изучает вопрос о пересмотре стандарта отработанного топлива и применении его для обеих форм ликвидации — через МОХ и «банку в канистре».

По мнению специалистов Минатома России, использовать энергетический плутоний для производства ядерного оружия чрезвычайно сложно. Некоторые американские эксперты, напротив, считают, что при современном уровне знаний террористы, получившие доступ к гражданскому плутонию, могут создать примитивную ядерную бомбу. Сегодня достигнут международный консенсус о необходимости тщательного учета и контроля ядерного материала, а также его охраны. Соответствующие необходимые процедуры осуществляются на всех объектах Минатома.

Д.Фенстермахер из Госдепартамента США отметил, что для доказательства приемлемой ликвидации плутония США и Россия будут использовать уровни выгорания и радиации отработанного МОХ-топлива. Подписанное в 2000 г. межправительственное соглашение оп-

ределяет уровень сжигания в минимум 20 ГВт·сут/т, а уровень радиации — в 1 Зв/ч на расстоянии одного метра от отработанного топлива спустя 30 лет после обработки топлива в реакторе.

## Как обращаться с военными излишками?

Л.Холгейт отметила следующие позиции в соглашении Гора—Касьянова:

— достигнутую договоренность о сокращении каждой стороной 34 т излишков оружейного плутония Россия намеревается выполнить посредством перевода плутония в МОХ-топливо и использовать его в реакторах, а США планирует применять как МОХ-метод, так и метод захоронения;

— переработка плутония в промышленном масштабе должна начаться в США и в России в декабре 2007 г. Каждая сторона должна ликвидировать по крайней мере 2 т плутония в год;

— США и Россия должны достигнуть соглашения с МАГАТЭ по международному контролю над программами сокращения.

Россия собирается организовать производство МОХ-топлива на ПО «Маяк» или в Железногорске. Росэнергоатом будет использовать МОХ-топливо на блоках ВВЭР-1000 в Балаково и, возможно, в будущем на блоках Калининской атомной станции. Другим потребителем МОХ-топлива станет уже действующий российский реактор на быстрых нейтронах БН-600. На то чтобы наладить промышленный выпуск МОХ-топлива для российских программ, направлены исследовательские работы во многих странах. Они включают адаптацию европейского МОХ-опыта к российским топливным разработкам, оценку возможности промышленного производства топлива в России, параллельные исследования во Фран-

ции и в Германии, производство опытных образцов топлива и прототипных сборок.

Не останавливаясь на заявленных 68 т, США и Россия намереваются изыскивать любые пути, чтобы ликвидировать как можно больше излишков плутония, включая использование российского МОХ-топлива за пределами страны. Уже анализируется перспектива сжигания российского военного плутония в канадских реакторах КАНДУ (CANDU). Обе страны уже отправили около 600 г военного плутония в Канаду для производства таблеток МОХ и экспериментального облучения их в исследовательском реакторе. В будущем в России могли бы быть построены новые, более совершенные реакторы, позволяющие утилизировать плутоний. Совместные усилия Министерства по атомной энергии (Россия) и компаний «General Atomics» (США), «Framatome» (Франция) и «Fuji Electric» (Япония) направлены на разработку прототипного реактора с газовым теплоносителем, который обладал бы высокой пропускной способностью по плутонию.

В июле 2000-го на саммите Большой восьмерки в Окинаве было решено подготовить многосторонние соглашения о международном финансировании программ ликвидации плутония\*. М.Дефрен из Европейской комиссии признался участникам конференции, что это будет «важная и трудная задача», но «если мы хотим начать ликвидацию к концу 2007 г., то необходимо учесть, что времени в обрез, и финансовые решения должны быть приняты».

## Возможно участие Европы

Много внимания на конференции уделялось вопросу во-

\* О важности этой проблемы говорилось и в заявлении министров иностранных дел стран Большой восьмерки по итогам встречи в Риме в июле 2001 г. — *Примеч. перев.*

влечения европейской атомной промышленности в программу ликвидации излишков российского оружейного плутония, поскольку в Европе накоплен обширный опыт по изготовлению и использованию МОХ-топлива. Французская компания «Cogema» при поддержке компаний «Electricité de France», «Belgonucleaire» и «Tractebel» (Бельгия) уже играет лидирующую роль в американской программе. На очереди — вопрос европейской помощи России на уровне физического задействования имеющихся там мощностей. Иванов выступил на конференции с идеей производить МОХ-топливо в России, сдавать его в аренду европейским энергокомпаниям для сжигания в их реакторах и в конечном итоге возвращать отработанное топливо в Россию для постоянного хранения. Этот сценарий обеспечивает увеличение пропускной способности реакторов, позволяющее ускорить ликвидацию российского военного плутония.

На сессии, посвященной обсуждению опыта и планов использования энергокомпаниями МОХ-топлива, ее руководитель Ф.Деконинк, председатель Бельгийского центра ядерных исследований, поставил вопрос: какая страна возьмется сжигать МОХ-топливо, принадлежащее другой стране? Вопрос сразу вызвал позитивное отношение множества европейских энергокомпаний, но были и противники такого предложения. Вот замечания некоторых участников дискуссии:

— представитель EON (Германия) Д.Броше: если это топливо дешевле, компания его возьмет;

— представитель НОК Г.Бэй: лизинг топлива звучит привлекательно, особенно для таких небольших программ, какими занимается НОК. В отношении данной идеи сомнений нет, если это имеет экономический смысл. Однако надо торопиться, поскольку срок работы имеющихся реакторов ограничен;

— представитель ОКГ (Швеция) С.Нордлоф: компания не станет связываться с МОХ-топливом, «если за него придется бороться»; опасение вызывает цена на топливо на нерегулируемом рынке (кстати, недавний опрос показал, что 72% шведов выступают за использование шведских реакторов для уничтожения излишков оружейного плутония);

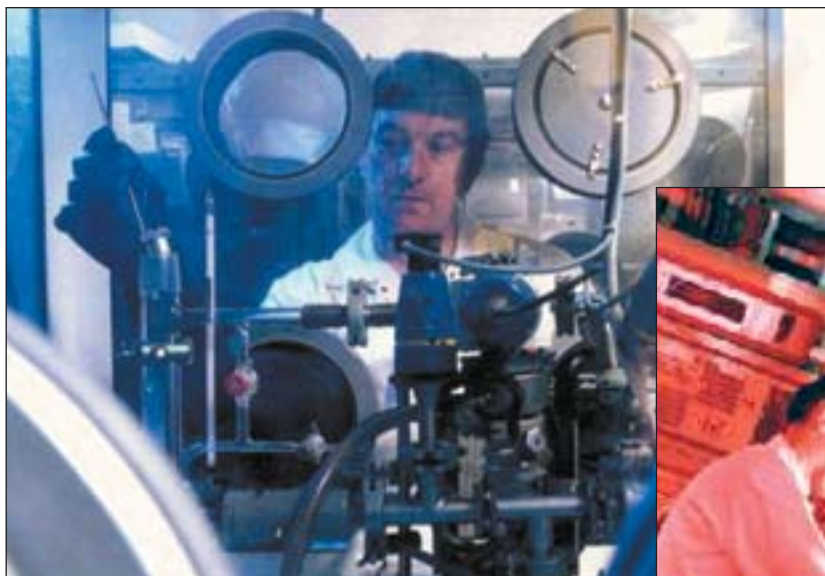
— представитель «Duke Power» (США) С.Несбит: «Duke» намерена закупить МОХ-топливо в случае, если это дает экономии по сравнению с покупкой эквивалентного количества уранового топлива;

— представитель «Electricité de France» Ж.-Л.Прово: на производственных мощностях нет места для чужого плутония, поскольку и так хватает проблем с переработкой собственного;

— представитель «Tokyo Electric Power» (Япония) С.Муто: японское правительство и Японский институт разработки ядерного цикла помогают России с программой уничтожения военного плутония на российском реакторе БН-600.

Эта дискуссия высветила очень интересную тенденцию. Пока французские и японские электрические компании будут продолжать перерабатывать свой плутоний, компании с опытом утилизации МОХ-топлива из Бельгии, Германии, Швейцарии и в скором времени Швеции планируют постепенно, в течение следующих нескольких лет, по мере полной переработки собственных запасов выделенного плутония, прекратить работу с МОХ-топливом. Но вполне можно ожидать, что одна (или несколько) из этих европейских компаний в дальнейшем обратится к новым программам утилизации МОХ-топлива, включая программу уничтожения российского оружейного плутония, вместо того чтобы полностью исключить использование МОХ, как видится сегодня. Конечно, это будет зависеть от экономи-





*Защитная камера с перчатками.*



*Обработка МОХ-тепловыделяющих элементов.*

ческих условий и позиций национальных правительств.

### **Впереди сложные задачи**

На конференции высветились многочисленные проблемы, связанные с утилизацией

гражданского и оружейного плутония. Например, необходимо срочно принять политические решения, намеченные в Окинаве; остается и ряд технических проблем. МОХ-путь сокращения запасов оружейного плутония может стать положительным итогом опыта коммерческого производства

и использования МОХ-топлива, но для этого потребуются проведение тестового облучения непосредственно оружейного плутония, который отличается от гражданского. Пробные образцы будут облучены в американских и российских реакторах перед тем, как дать старт полномасштабной реализации про-

Контроль качества.



граммы. Для США должна быть разработана и продемонстрирована технология консервации оружейного плутония. Могут возникнуть трудности с обеспечением достаточным количеством цезия для устройства радиационного барьера. И необходимо провести испытания, подтверждающие, что метод «банка в канистре» удовлетворяет принятым требованиям безопасности.

На конференции профессор А.Сузуки из Токийского университета высказал мнение, что для решения технической части задачи потребуется более тесное сотрудничество членов международного технического сообщества, но задача в большей степени политическая, нежели техническая.

Помимо проблем новых технологий, основными вопросами остаются ресурсы — люди и деньги. П.Д'Хонд из Бельгий-

ского центра ядерных исследований отметил истощение научного потенциала и нужду в привлечении в поле ядерных технологий новых ученых. В.Гмелин подчеркнул, что очень важно поддерживать на достаточном уровне финансирование Управления безопасности Евроатома со стороны Евросоюза.

Завершая конференцию «Плутоний-2000», председатель программного комитета П.Говарт отметил, что в основном достигнут консенсус: надо не только решать проблему нераспространения запасов плутония, нарастающих в процессе разоружения, но и не забывать о мирном использовании ядерной энергии. Он назвал недавнее соглашение Гора—Касьянова призывом к другим заинтересованным странам определить свою политику в области плутония. «Первые переговоры о сокращении ядерных арсеналов», — сказал Говарт, —

начались уже более 25 лет назад. Сейчас сложились все условия для реализации этого сокращения. Мы все обязаны вместе устранить страшные последствия холодной войны, найти правильное решение проблемы плутония. С этим веществом нужно обращаться осторожно, но содержащуюся в нем высокую энергию необходимо использовать в реакторах, а не терять зря». Как заметил в заключение президент Бельгийского ядерного общества Ж.Корнэ, конференция показала, что эффективные способы обращения с плутонием есть, и дело за правительствами, которые должны принять соответствующие решения. ■

© Перевел с английского  
**В.В.Белый,**  
доктор физико-математических наук

### «Магнит», указывающий на «марсиан»

Проведенные за последние четыре года исследования оставили все меньше надежд на то, что найденный в Антарктиде марсианский метеорит ALH84001 несет в себе следы жизни, некогда существовавшей на Красной планете. Химические и минералогические его особенности, первоначально принятые за признаки давно ушедшей жизни, одна за другой оказывались лишь возможными следствиями «безжизненных» химических процессов. Но вот на конференции Американского геологического общества (Рино, ноябрь 2000 г., штат Невада) с новыми доказательствами выступила группа, руководимая Кати Л.Томас-Кепрта (K.L.Thomas-Keptra; Лаборатория компании «Lockheed Martin», Хьюстон), и ранее отстаивавшая эту гипотезу (Science. 2000. V.290. №5500. P.2242; Geochimica and Cosmochimica. Acta. 1.12.2000. США). На сей раз ученые обратились к магнитным свойствам минералов, слагающих найденный метеорит.

Исследователи считают, что магнитные минералы нанометровых размеров в данном метеорите ничем не отличаются от микроскопических магнетитов, синтезируемых некоторыми микроорганизмами на Земле. Примером могут служить магнетиты, образуемые бактериями MV-1 в земных океанах. Эти организмы извлекают оксиды железа из окружающей среды, накапливают их в синтезируемых частицах, а последние выстраивают в цепочки, которые представляют собой маленькие магниты. Они служат микроорганизмам «органом чувств», позволяющим ориентировать-

ся по силовым линиям магнитного поля планеты.

Создание таких датчиков в результате биологической эволюции не требовало значительных затрат энергии. Томас-Кепрта не видит причин, почему бы подобный процесс был невозможен на Марсе.

Сотрудники группы установили, что магнетиты внутри метеорита ALH84001 (все они имеют длину около 40 нм) очень похожи на те, которые синтезируют земные бактерии. И в изученных «марсианских», и в земных магнетитах отсутствуют дефекты кристаллической структуры, которые бы уменьшали остаточную намагниченность. Форма кристаллов у «марсианина» такая же, как и у его земного предполагаемого родственника – 48 граней. И те, и другие магнетиты отличаются высокой химической чистотой; загрязняющих примесей, таких как алюминий или титан, снижающих магнитные свойства, в ALH84001 почти нет, земные же бактерии отлично «умеют отделяться» от чужеродных примесей.

Словом, магнитно-кристаллические свойства метеорита близки к тем, какими обладают земные бактерии MV-1. Л.Келлер (L.Keller; Космический центр им.Джонсона НАСА, Хьюстон) высказал такую мысль: «Если бы подобные свойства были обнаружены не в марсианских, а, например, в австралийских осадочных породах, их, несомненно, сочли бы магнетитами биологического происхождения». Но, конечно, для окончательных выводов необходимо получить доказательства, что отсутствовал некий неорганический процесс, например тепловое разложение карбонатов железа при ударном воздействии, который мог привести к образо-

ванию магнетитов. Следует попытаться синтезировать магнетиты в лабораторных условиях, чтобы проверить данную гипотезу.

### Пингвин подает клич

Пингвины в период высиживания яиц находят редкие для Антарктиды участки ровного льда площадью в несколько квадратных километров и образуют гигантские колонии численностью более миллиона птиц. Поскольку они стоят очень плотно, возникает вопрос: как супружеские пары могут услышать и отыскать друг друга в оглушающем гомоне в 75 Дб?

Еще с 70-х годов известно, что самец и самка, поочередно сменяясь для высиживания яиц и лова пищи в океане, находят супруга, подавая определенный клич. Группа специалистов Лаборатории биоакустики факультета естественных наук Центра Орсе под руководством Т.Обэна (T.Aubin) исследовала акустические характеристики таких сигналов и пришла к выводу, что у каждой пары клич отличается собственной «звуковой подписью» (Science et Vie. 2000. №995. P.14. Франция). Кодированный сигнал, на который, собственно, и реагирует партнер, звучит в самом начале клича и длится не более 150 мс. Именно благодаря такой, уникальной для каждой пары, кодировке, он воспринимается адресатом с расстояния 16 м, в то время как кличи других пингвинов тонут в гомоне колонии уже в восьми метрах.

«Звуковые подписи» родителей знает и еще не вылупившийся птенец. А после взросления птица находит своего партнера и запоминает его сигнал.



# Дистанционное сканирование земной коры

Ю.П.Цветков, Н.М.Ротанова

В замечательной книге Л.Аусвейта «Как открывали земной шар» рассказывается об удивительных, полных приключений и драматизма событиях, с которыми связана эпоха географических открытий. Двигателем многовековой истории были жажда знаний и чисто практические соображения: распространение товаров и поиск новых рынков сбыта. То, что раньше осуществлялось годами, сейчас, в век технического прогресса, проводится в считанные дни. К примеру, фотосъемка земной поверхности со спутников выполняется практически мгновенно. А как обстоят дела с исследованием глубин? Увы, строение и состав даже внешней оболочки — земной коры — подробно не изучены до сих пор. Несмотря на бесспорные и выдающиеся достижения в области глубинной геодинамики, многие вопросы, связанные с внутренним строением нашей планеты, ждут своих исследователей. Решение их не будет легким — непосредственно проникнуть в земные недра практически невозможно. Поэтому большое значение имеют геофизические исследования: сейсмологические, магнитотеллурические и др., основывающиеся на интерпретации гео-



*Юрий Павлович Цветков, доктор физико-математических наук, заведующий сектором Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН. Специалист в области научного приборостроения и проведения магнитных съемок.*



*Нина Михайловна Ротанова, доктор физико-математических наук, профессор, заведующая лабораторией того же института. Область научных интересов — геомагнетизм и геоэлектрика.*

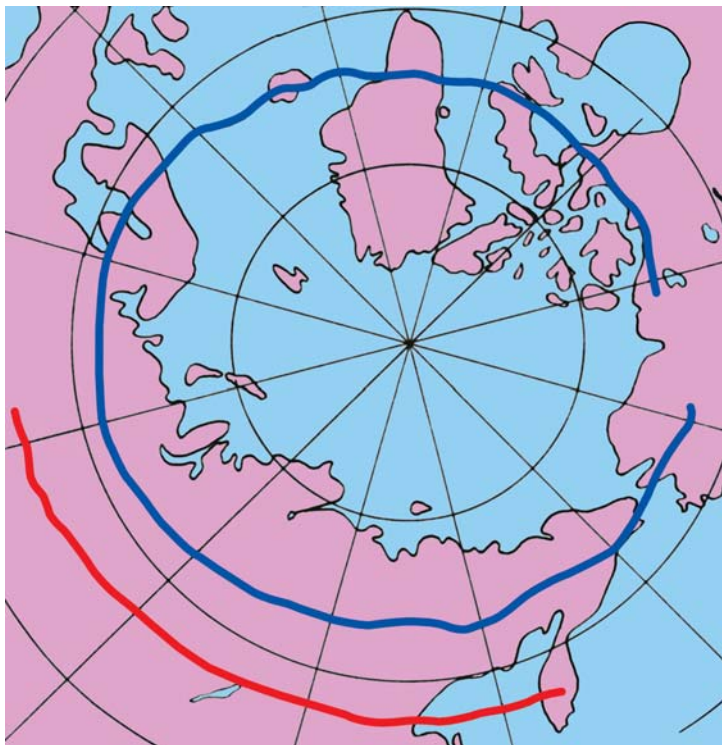
физических полей. Но, как это ни парадоксально, наши представления о составе пород и процессах, происходящих в нижних слоях земной коры, остаются в значительной мере гипотетическими. Один из наиболее информативных в этом плане геофизических подходов, возможности которого до сих пор реализуются далеко не

в полной мере, — использование магнитных полей Земли.

## Аномальное магнитное поле

Существуют три геомагнитных поля, образованных разными источниками. Первое — главное, или нормальное (в преде-





Трассы полетов стратосферных аэростатов летом 1997 г. Красной линией показан маршрут российского аппарата, синей — американского.



Подготовка аэростата к запуску. Идет закачка газа по специальным рукавам.

лах  $20-60 \cdot 10^3$  нТл), генерируемое токами в жидкой части ядра Земли. Расположение именно его силовых линий фиксируют компасы. Второе — переменное, оно порождается токами в ионосфере и магнитосфере. Типичное его проявление — магнитные бури. Для умеренных широт значения солнечно-суточных вариаций  $\sim 30$  нТл, а возмущенных (магнитных бурь)  $100-1000$  нТл. И наконец — аномальное. Последнее существует благодаря намагниченности земной коры по всей ее толщине ( $\sim 40$  км), а нижележащие горные породы уже немагнитные. Поэтому среди физических полей континентов и океанов аномальное магнитное поле одно из наиболее информативных для изучения внутреннего строения земной коры. Среднее его значение  $\sim 200$  нТл, а в крупных магнитных аномалиях поля превышают  $1000$  нТл (например, в Курской магнитной аномалии \*  $10^3-10^4$  нТл).

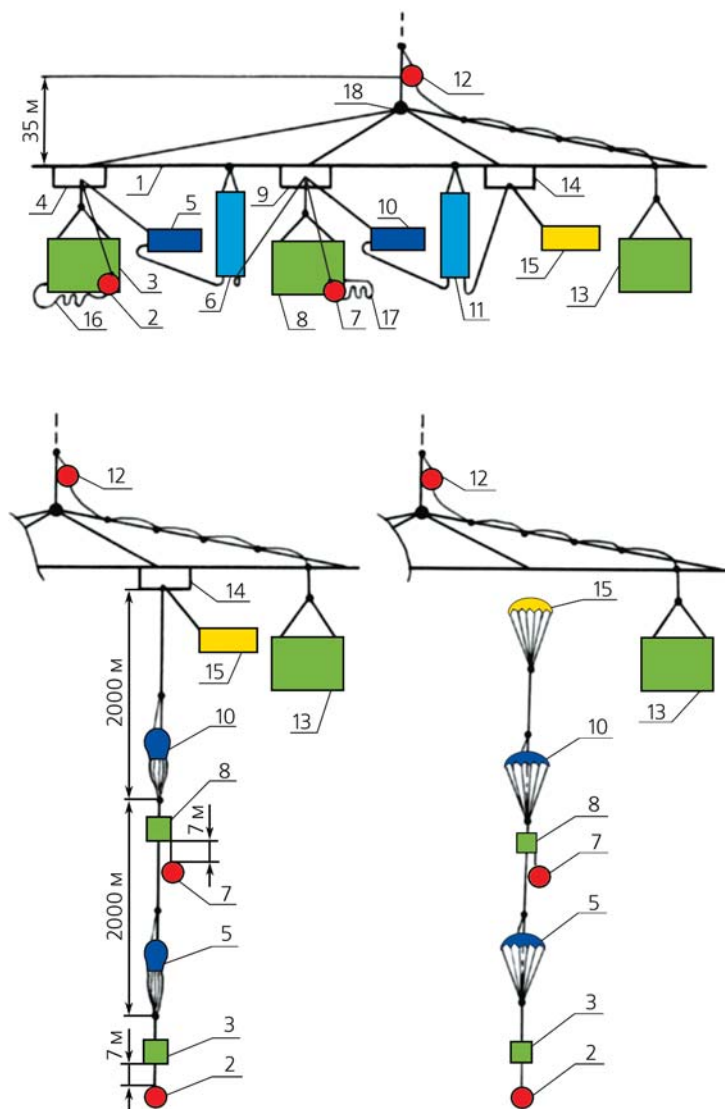
Эта, казалось бы, сугубо фундаментальная проблема имеет вполне реальные прикладные аспекты. Глубинная структура играет не последнюю роль в распределении полезных ископаемых и в поверхностном слое земной коры; кроме того, не в таком уж далеком будущем человечеству в поисках минерального сырья придется проникать все глубже и глубже в земную кору. Вот тогда-то данные о ее внутреннем строении и процессах, в ней протекающих, окажутся просто бесценными.

Но как изучать аномальное поле? Для его исследования нужен богатый экспериментальный материал, получаемый во время наземных, аэромагнитных и спутниковых съемок. При аэромагнитных съемках из-за недостаточной высоты полетов ( $0,5-3$  км) поверхностные источники магнитных по-

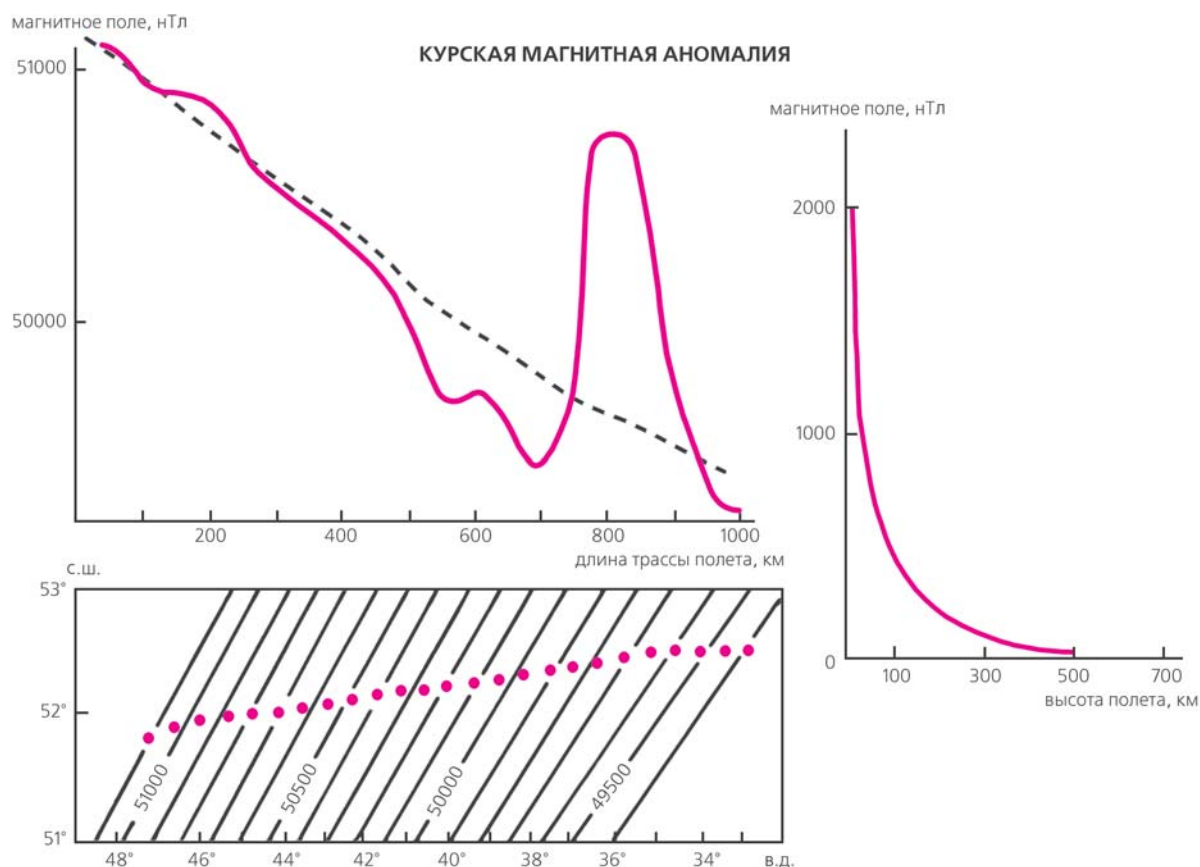
\* О первых исследованиях Курской магнитной аномалии см.: Незнакомый Костицын // Природа. 2001. №4. С.70—80; №5. С.69—79. Примеч. ред.

лей подавляют сигналы, идущие из глубинных областей коры. К тому же съемки проводятся на ограниченных площадях, на неодинаковых уровнях и в разное время. Увязать все эти данные и получить региональную карту, отображающую поля глубинных источников, трудно, если вообще возможно. Ведь аномальное магнитное поле не стационарно, к тому же оно имеет еще и так называемый вековой ход.

Заметный вклад в изучение аномального магнитного поля Земли внесли спутниковые съемки. Начиная с 60-х годов данные советских спутников «Космос-49 и -321», американских POGO-2, -4, -6 и MAGSAT (1980) существенно изменили наше представление о пространственной структуре аномальных полей. Точность же измерения работающего сейчас на орбите датского спутника OERSTED оказалась такой же, что и MAGSATa, а значительно большая высота полета (700 км) не позволяет использовать его данные для изучения аномальных полей. Даже 400-километровая высота полета MAGSATa затрудняла выделение мелких тектонических структур (например, разломов). Кроме того, для всех спутниковых съемок окончательно не решена проблема разделения магнитных полей, обусловленных разными физическими источниками.



*Схема подвесной системы аэростата с размещенным на ней градиентным измерителем геомагнитного поля. Вверху — в стартовой позиции; внизу слева — в режиме дрейфа (рабочей позиции); справа — при отдельном приземлении на завершающей стадии полета основной подвески аэростата и спускаемой части измерителя. 1 — балка подвески аэростата; 2, 7, 12 — датчики магнитометров; 3, 8, 13 — приборные контейнеры с магнитометрами; 4, 9, 14 — пирозамки; 5, 10 — тормозные парашюты; 6, 11 — фалонакопители; 15 — спасательный парашют; 16, 17 — свертки с кабелем-тросом, соединяющим датчики с магнитометрами; 18 — стартовый замок. Развертывание градиентометра происходит следующим образом. При всплытии аэростата на высоте 2 км по сигналу от барореле срабатывает пирозамок (4), а контейнер (3) с датчиком (2) под действием силы тяжести начинает падать. При этом выдергивается парашют (5) из камеры, снижение контейнера замедляется и постепенно выбирается трос из фалонакопителя (6). После того как весь трос будет выбран, контейнер (3) зависает на якоре пирозамка (9). На высоте 4 км срабатывает пирозамок (9), и процесс повторяется для контейнера (8). После выбора всего троса из фалонакопителя (11), выносная часть градиентометра зависает на якоре пирозамка (14) и градиентометр готов к работе. После выполнения съемок на пирозамок поступает сигнал окончания работы, и выносная часть градиентометра отделяется от основной подвески аэростата и приземляется самостоятельно.*



Магнитное поле в районе Курской магнитной аномалии (КМА). Вверху — изменение индукции вдоль трассы аэростата (цветная линия — измеренные значения, пунктирная — модельные); внизу слева — трасса полета, наложенная на карту нормального магнитного поля; справа — зависимость индукции от высоты полета.

При изучении строения нижней части коры магнитными методами важно иметь данные, полученные с аппаратов, которые работают на высотах 20—40 км, равных вертикальной мощности земной коры. В этом случае сигналы с глубины не

заглушаются сигналами поверхностных источников и аномальное магнитное поле проходит естественный процесс фильтрации и формирования своей структуры. И тут сама природа пришла на помощь исследователям. Дело в том, что

в атмосфере Земли на высотах свыше 20 км существуют устойчивые воздушные течения вдоль параллелей. Идеальный летательный аппарат, приспособленный для полетов в таких условиях, — свободный аэростат. Диапазон высот 20—40 км хорошо освоен стратосферными дрейфующими аэростатами. Используя зональные воздушные течения, они способны совершать кругосветные полеты. Так, французские исследователи подготовили и провели почти кругосветный полет аэростата с магнитометром от Южной Африки до Австралии (через Южную Америку). Японцы практикуют полеты вокруг Антарктиды. Американский аэростат в 1997 г. облетел практиче-

**Величина магнитного поля Курской аномалии в зависимости от высоты съемки**

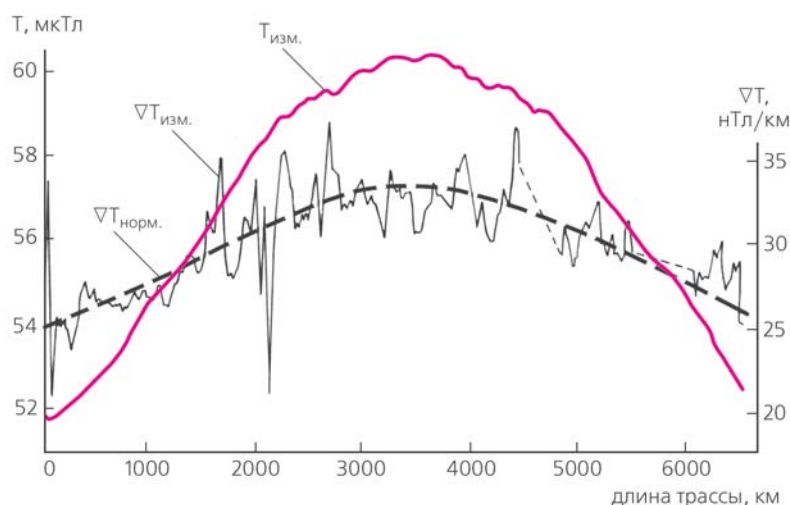
Данные	Высота съемки, км	Индукция магнитного поля, нТл
Аэромагнитные	9	2400
Аэростатные	25	1200
Спутниковые	350	28
	700	3
Магнитной карты	—	10000
Расчетные	120	421



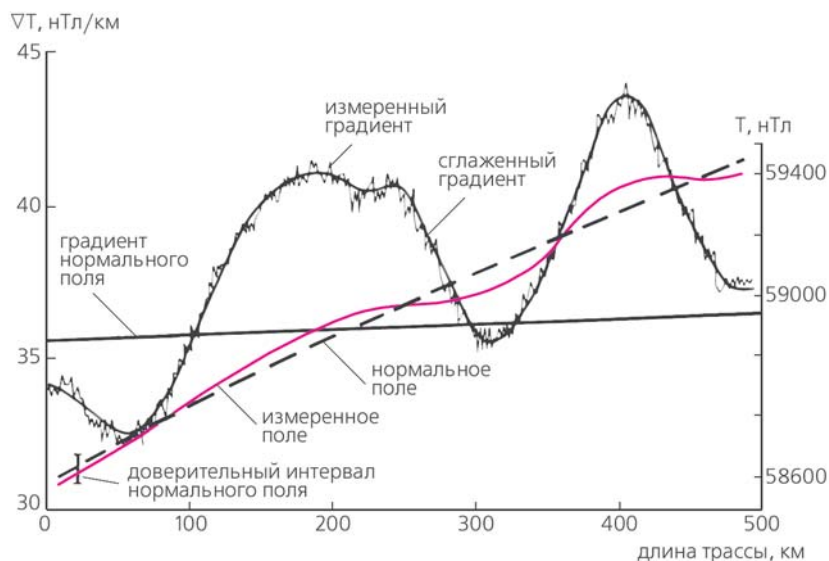
ски весь Северный полярный круг. Но, несмотря на то, что полеты аэростатов, выполненные французскими и японскими специалистами, были предназначены для изучения аномальных магнитных полей, на наш взгляд, научная значимость их минимальна. При использовании единственного магнитометра практически невозможно решить задачу разделения магнитных полей и надежно выделить аномальное поле. Ведь не поставишь же по всему кругосветному маршруту магнитовариационные станции, как это делается при аэромагнитных съемках.

Как же получить аномальное магнитное поле в «чистом виде», как отделить от него переменное и главное? Мы предложили с помощью двух датчиков, установленных на одном аэростате, но на разной высоте, измерять как само поле, так и его градиенты. Так как источники переменного магнитного поля расположены на большом расстоянии от уровня измерения, то на оба датчика оно влияет одинаково. А источники в земной коре — ближе, поэтому и возникает разность магнитных полей, градиент. Главное же магнитное поле исключается математическим моделированием. Если главное поле отличается от модельного примерно на 20 нТл, то его пространственные градиенты практически совпадают с модельными. Это позволяет строго выделять аномальные магнитные градиенты из определенных в стратосфере полей, что способствует их надежной геологической и геофизической интерпретации.

Почему же раньше исследователи не проводили такие съемки? Дело в том, что на высотах 20–40 км величины полезных сигналов малы даже при использовании самых высокоточных и высокочувствительных магнитометров, существующих в настоящее время. Требуется очень длинная (в не-



Профили полного магнитного поля ( $T$ ) и его вертикального градиента ( $\nabla T$ ), измеренных на высоте 30 км для Сибирского региона. Цветной линией показаны измеренные значения полного поля, пунктирной — градиента нормального поля, черной — градиента аномального магнитного поля.



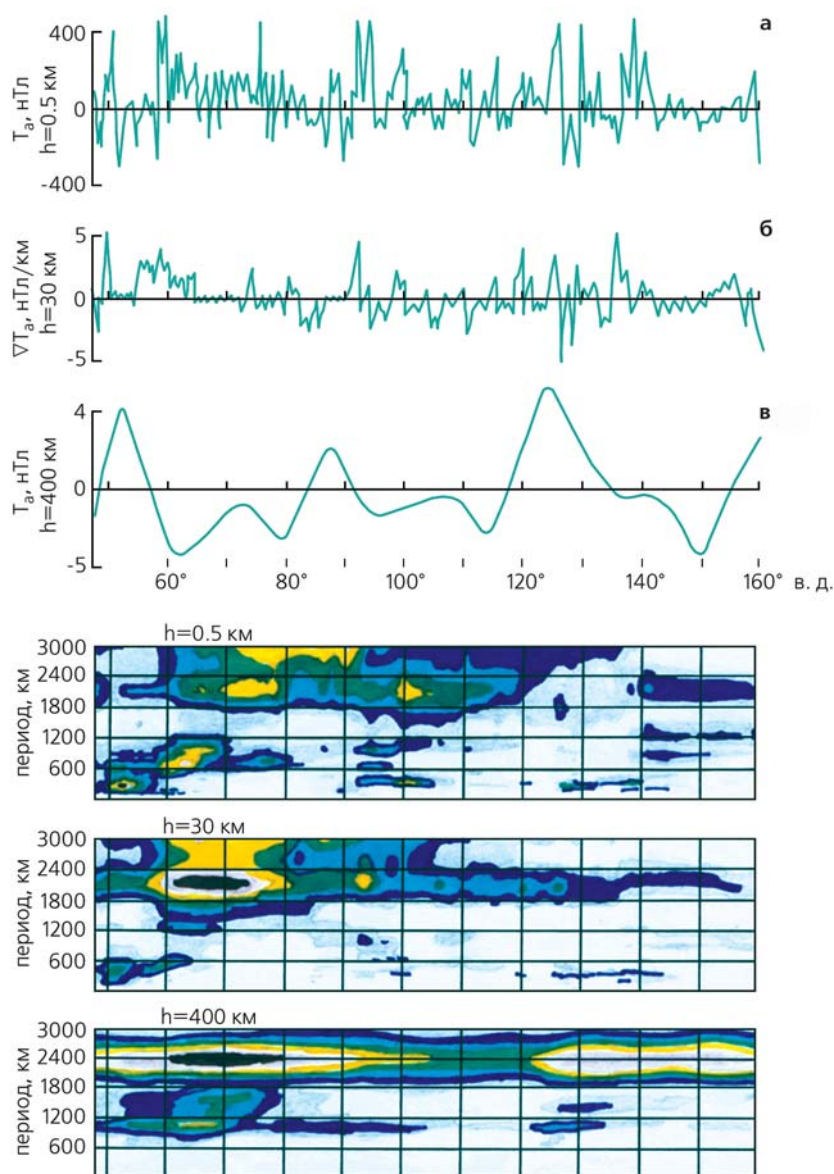
Профили полного магнитного поля ( $T$ ) и его вертикального градиента ( $\nabla T$ ) на высоте 30 км над Витимским нагорьем. Относительно главного магнитного поля аномалии разделяются на положительные и отрицательные.

сколько километров) измерительная база градиентометра (удаленность датчиков магнитометров друг от друга). Создать градиентометр с подобной измерительной базой оказалось совсем не просто.

## Магнитные градиенты измеряют с аэростатов

В Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Российской





Профили аномального магнитного поля ( $T_a$ ) на высотах 0,5 км (а) и 400 км (в) и его градиента на высоте 30 км (б). Внизу — их динамические спектры. Основные пики в спектрах приходятся на периоды  $L_1 = 400–500$  км,  $L_2 = 1000–1200$  км и  $L_3 = 2200–2400$  км.

академии наук накоплен огромный опыт выполнения аэростатных градиентных магнитных съемок, не имеющих аналогов в мировой практике магнитометрии. Пройдены этапы измерения вертикальных магнитных градиентов двумя магнитометрами — сначала на базе в 1, а затем 2 км. Впервые в мире

разработана и разрешена для эксплуатации на борту больших стратосферных дрейфующих аэростатов система из трех магнитометров, разнесенных на 4, а потом на 6 км. При этом реализован надежный способ автоматического развертывания системы при всплытии аппарата. Современные аэростаты — ги-

гантские и очень сложные в инженерном плане конструкции: высота их в полете достигает 100 м, грузоподъемность — 2 т. Летом такой аппарат летит в устойчивом воздушном течении со скоростью около 50 км/ч. В зимний период трассы полета менее устойчивы по направлению, зато скорость в среднем составляет 150 км/ч.

В рабочем состоянии аэростатный магнитный градиентометр представляет собой систему из трех автономных протонных (ядерно-прецессионных) магнитометров (основанных на прецессии ядер водорода в земном магнитном поле), равномерно разнесенных по вертикали и буксируемых на высотах 26, 28 и 30 км.

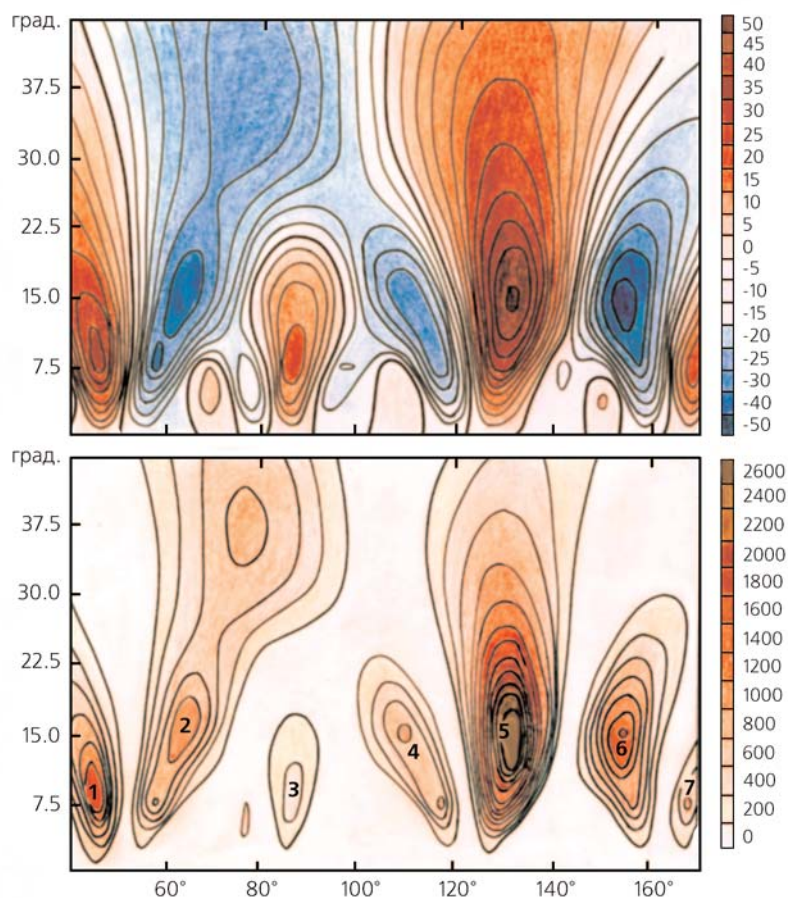
Основная трудность работы подобных систем состоит в спуске и особенно в подъеме промежуточной связки контейнер-датчик. В данном эксперименте не требуется поднимать контейнеры с приборами обратно в корзину аэростата. Это позволяет найти оригинальное решение системы автоматического развертывания градиентометра, а при посадке аппарата разделить на собственных парашютах приземление основной подвески и ее выносной части. Определение координат аэростата в полете осуществляется устройством, состоящим из приемника и накопителя навигационных данных.

Аномальное магнитное поле хранит много загадок. В последнее время во всем мире интенсивно изучаются длинноволновые (от 500 до 3000 км) магнитные аномалии. До сих пор мало известно об их источниках, хотя существование таких аномалий, по аэростатным и спутниковым данным, не вызывает никакого сомнения. Над территорией России проведено много аэростатных полетов, один из первых выполнен еще в 1975 г. в районе Курской магнитной аномалии. В то время для измерения магнитного поля использовался только

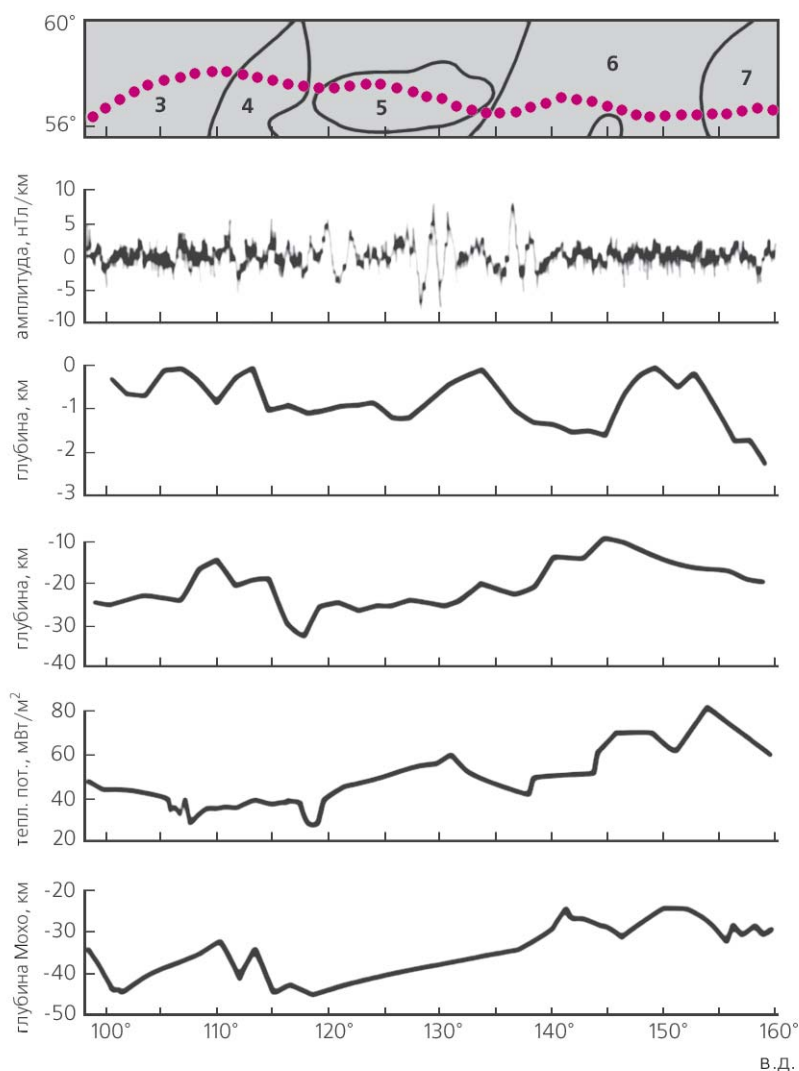
один протонный магнитометр. Полет позволил совместно со спутниковыми и наземными измерениями понять, как убывает аномальное поле в зависимости от высоты съемки (см. табл.). На высотах  $\approx 700$  км оно даже над Курской аномалией составляет только  $\approx 3$  нТл.

В 80-е годы наступил значительный прорыв в проведении подобных экспериментов. С Камчатки в западном направлении, вдоль параллели  $56^\circ$ , запускались аэростаты с двумя, а затем и тремя протонными магнитометрами. Такие полеты позволили получить не только само поле, его вертикальный градиент, но и изменения последнего вдоль вертикали, был вычислен показатель степени убывания аномального поля при удалении вверх от источников.

Отметим одно обстоятельство, связанное с получением аномального поля на стратосферных высотах. Напомним, что в полете измеряется только полное поле, аномальное же рассчитывается как разность между измеренным и модельным. Последнее представляет главное магнитное поле, описываемое международной аналитической моделью IGRF. Возникает вопрос о численных значениях аномального поля, его вертикальном градиенте и погрешностях их представления. Мы показали, что среднеквадратичное значение вертикального градиента аномального поля по всей трассе, проходящей от Камчатки до Урала, составляет  $2.5 \pm 0.3$  нТл/км. Само же аномальное поле здесь оценивается в  $\approx 50$  нТл при погрешности в 20 нТл. Последняя определяется ошибкой модели главного поля. Погрешности, вносимые переменным магнитным полем, небольшие за счет коррекции, при которой использовались данные магнитных обсерваторий, расположенных вдоль трасс аэростатов. Таким образом, как само аномальное поле, так и его вертикальный градиент — величина



*Вейвлет-преобразование профиля аномального магнитного поля (в), приведенного на предыдущем рисунке. Вверху — распределение вейвлетных коэффициентов; по вертикальной оси дается масштабный коэффициент  $a$ , по горизонтальной оси — параметр сдвига  $b$ . В структуре вейвлетных коэффициентов выделяются различные неоднородности: мелкомасштабные —  $4-5^\circ$  (при небольших значениях коэффициента  $a$ ); долготные —  $10-12^\circ$ ; крупномасштабные —  $\sim 20-30^\circ$ . Масштаб  $\sim 25^\circ$  разделяет структуру коэффициентов на две области. По спутниковым данным, вся динамика аномального поля сосредоточена в нижней части. В верхней видны две крупномасштабные детали. Внизу — распределение энергетической плотности. Семь крупномасштабных неоднородностей, характеризующих аномальные магнитные поля, отражают реальные тектонические структуры: Восточно-Европейскую платформу (1); Уральский орогенный пояс, характеризующийся отрицательными значениями аномального поля (2); Саянскую и Енисейскую складчатые системы (3); Байкальскую систему (4), Алданский щит (5), где наблюдается интенсивная положительная аномалия в магнитном поле; Охотоморскую плиту (6); Камчатскую геосинклинальную систему (7).*



Результаты определения границ магнитоактивного поля над территорией Восточной Сибири, по данным спектрального анализа. Вверху — трасса полета аэростата и тектоническая зональность региона (расшифровка цифровых обозначений такая же, как на предыдущем рисунке); далее, сверху вниз, профили: аномальных магнитных градиентов; верхних кромок магнитоактивного слоя земной коры; нижних кромок магнитоактивного слоя земной коры; теплового потока; границы Мохоровичича.

ны значимые, существенно превышающие ошибки их измерения, а вертикальный градиент выделяется более точно, чем само поле.

Мы подошли теперь к наиболее сложной проблеме в исследовании аномальных магнит-

ных полей — природе магнитных аномалий. К сожалению, на сегодняшний день нет математических подходов, при помощи которых по данным об аномальном поле можно судить о пространственном распределении его источников. Практи-

чески все методы, применяемые для идентификации источников магнитных аномалий, основываются на результатах их пространственного спектрального анализа. Для его проведения использовались профили аномального магнитного поля, полученные на приземных, стратосферных и спутниковых высотах. Динамические характеристики спектров определены методом узкополосной фильтрации, в основу которого положено выделение гармонических составляющих с помощью адаптивных фильтров. Методика спектрального анализа, основанная на адаптивной фильтрации, позволяет получить не только одномерное, но двумерное и даже трехмерное представление рассматриваемого ряда в спектральной области. Видны не только характерные периоды в спектрах, но и их изменения по всей длине профиля. Длиннопериодные изменения  $L = 500\text{--}3000$  км выделяются на всех высотах. Кроме того, магнитные аномалии с такими периодами имеют максимальную интенсивность не по всей длине профиля. Выделяются три области:  $60\text{--}70^\circ$ ,  $120\text{--}140^\circ$ ,  $150\text{--}160^\circ$  в.д., относящиеся соответственно к районам Урала, Алданского щита и Охотоморской плиты. Структура аномального магнитного поля даже на спутниковых высотах очень сложна.

## Интерпретация магнитных аномалий

Новое весьма неожиданное решение получило представление аномального поля в частотной области с помощью вейвлет-анализа\*. На сегодняшний день этот «математический микроскоп» способен дать не только общую структуру рассматриваемого сигнала, но и изучить его локальные особенности. Вейвлетное преобразование

\* Иванов ВВ, Ротанова НМ. // Геомагнетизм и аэрономия. 2000. Т.40. №2. С.78—83.



приведенного ранее спутникового профиля показано на рисунке. В структуре коэффициентов выделяются различные неоднородности: мелкомасштабные (4–5°); долготные (10–12°) и, наконец, крупномасштабные (20–30°).

На графике распределения плотности энергии, полученного из вейвлет-анализа того же профиля, более ясно, чем на картине самих коэффициентов, выделяются семь крупномасштабных деталей, характеризующих аномальные магнитные поля. Сравнение их с тектонической картой рассматриваемого региона показывает, что они отражают реальные тектонические структуры. Вейвлет-анализ стратосферных магнитных профилей позволяет более подробно рассмотреть отдельную структуру и определить распределение магнитных масс внутри нее, т.е. вейвлет-анализ аномального поля не только выделил неоднородную структуру этого поля, но и указал локализацию неоднородностей на профиле.

Одна из важных проблем связана с определением глубины верхней и нижней кромок магнитоактивного слоя. Не останавливаясь на математической стороне вопроса, приведем результаты определения границ этого слоя, полученные из спектрального анализа аэростатного профиля магнитного поля над территорией Восточной

Сибири. Вычисленные глубины границ магнитоактивного слоя для этого региона показаны на последнем рисунке. Полученные величины — обобщенные, представляющие статистическую оценку глубин источников аномалий. При расчете такой глубины для каждой аномалии удобно применять метод, основанный на использовании характеристик убывания аномального поля при удалении прибора вверх от источника. Если измерить магнитное поле на разных высотах, как в случае аэростатных градиентных съемок, то полученные магнитные аномалии будут содержать информацию и о глубине их источника. Итак, для двух магнитных аномалий Витимского нагорья, рассчитывая глубины их источников, мы использовали те измеренные значения поля и его вертикального градиента, в которых коэффициент затухания не изменялся в диапазоне рассматриваемых высот. Оказалось, что для обеих аномалий это условие выполняется при глубине нижней кромок магнитного слоя около 32 км. Эта величина достаточно хорошо согласуется с данными, полученными спектральным методом. Новый подход позволил построить профиль глубин источников отдельных магнитных аномалий, степень корреляции которого с профилями различных геофизических полей поможет ответить на ряд

актуальных вопросов, в частности выяснить роль структурных и термических особенностей земной коры в формировании нижней границы магнитоактивного слоя.

\* \* \*

Первые съемки аэростатным магнитным градиентометром выполнены по методике, которая естественно будет совершенствоваться в очередных экспериментах. Однако уже сейчас получены новые важные результаты о структуре аномального магнитного поля, его источниках, надежно выделены магнитные аномалии в поле градиентов. Эти данные дали толчок развитию нового подхода в изучении источников магнитных аномалий по характеристикам затухания поля с высотой.

Любой творческий процесс происходит по определенной схеме. Так, писатель прежде всего набрасывает план произведения, которое создается по первым впечатлениям. Далее тема разрабатывается. Так и в решении тайн мироздания первоначально обрисовывается проблема, а далее собираются факты, систематизируются — проблема проясняется. Мы надеемся, что наш подход в изучении строения земной коры найдет своих приверженцев и совместными усилиями будет сделан следующий шаг в познании нашей планеты. ■



# Бассейн Вудларк — модель для изучения процессов растяжения и раскола земной коры

## (180-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)

Научные сообщения

И.А.Басов,

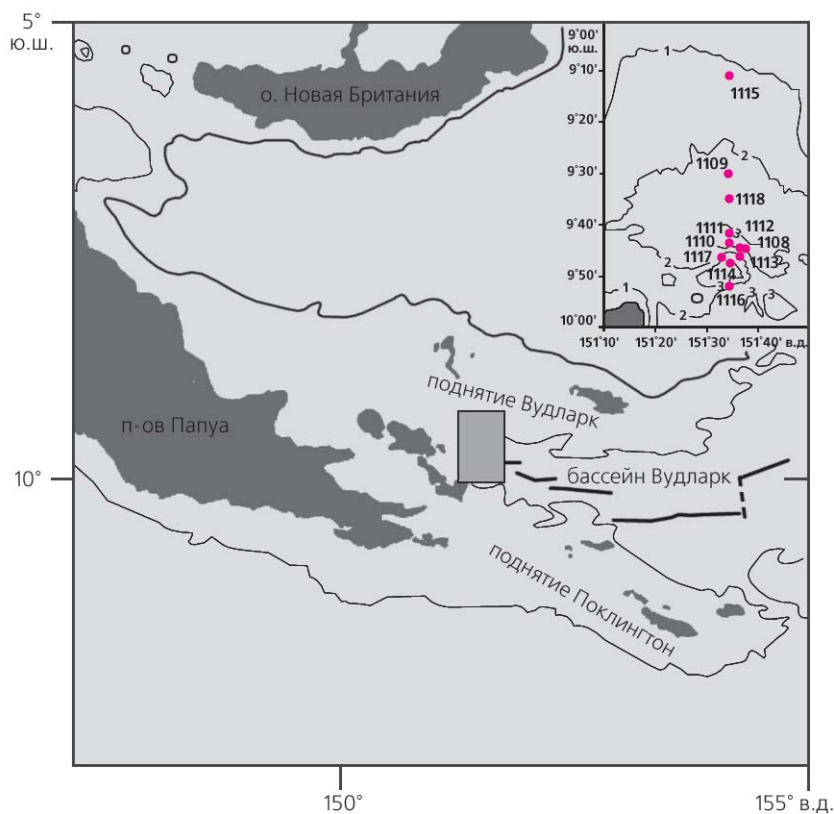
доктор геолого-минералогических наук

Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН

Москва

Исследования в этом рейсе проводились в западной части Тихого океана, в расположенном к востоку от о.Новая Гвинея бассейне Вудларк. Когда-то на его месте существовало продолжение п-ова Папуа, которое затем из-за начавшихся процессов растяжения расколосось на поднятия Вудларк и Поклингтон, погрузившиеся затем под воду. По данным магнитных исследований, 6 млн лет назад между этими поднятиями возник центр растяжения коры — субширотного спрединга, ось которого продвигалась в западном направлении и в настоящее время заканчивается у подножья п-ова Папуа, где спрединг сменяется так называемым континентальным рифтингом — расколом коры с образованием рифтов (грабенов и полуграбенных), а также проявлениями вулканизма. Сейсмические исследования показывают, что процессы спрединга и рифтинга продолжают здесь до сих пор, что подтверждается частыми землетрясениями.

© И.А.Басов



Положение скважин, пробуренных в 180-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн» по Программе океанского бурения. Серый прямоугольник — район исследований, показанный на врезке. Залитые кружочки с номерами — скважины. Изобаты проведены через 1 км.

Исследования подобных структур морского дна важны для понимания процессов, предшествующих формированию окраинноморских или океанских бассейнов. Именно по этой причине Вудларк стал объектом исследований в очередном рейсе по Программе океанского бурения. Он проводился под руководством Б.Тэйлора из Гавайского университета в Мааноа (Гонолулу, США) и Ф.Юшона из Лаборатории геологии Национального научно-исследовательского центра Франции. Научным представителем Программы океанского бурения был А.Клаус [1].

В рейсе предстояло изучить строение и основные физические свойства пород и флюидов в зонах активного полого падающего разлома, чтобы понять, как происходит скольжение пород вдоль него. Второй задачей должно было стать исследование литологии и стратиграфии осадочного чехла, а также истории вертикальных движений в пределах северной окраины поднятия Вудларк. Третьей — расшифровка внутренней структуры осадочного чехла и фундамента южной окраины бассейна (подводная гора Морсби). Все эти данные необходимы для разработки региональной модели деформаций растяжения в континентальной литосфере, которая объяснила бы природу, время и последовательность процессов, предшествовавших спредингу.

Для решения этих задач в рейсе было пробурено 23 скважины в 11 точках, расположенных с разной частотой

вдоль меридионального профиля через упомянутые структуры в интервале глубин 406.5—3246.4 м. В общей сложности было пройдено почти 4 км пород и добыто 1966.4 м керн. Самая глубокая скважина (1118) достигла 926.6 м ниже дна океана.

Значение полученных данных для разработки кинематической модели региона можно будет оценить в полной мере только после их лабораторной обработки и всестороннего анализа. В связи с неожиданными обстоятельствами некоторые цели не были достигнуты. Так, например, бурение скважины 1108 в осевой части впадины было прекращено из-за повышенного содержания углеводородов в осадках, что создавало угрозу судну, и породы фундамента здесь не были достигнуты. Применявшаяся технология бурения не позволила также пройти крупнообломочную ископаемую осыпь у северного подножия горы Морсби, где активный пологий разлом находится на наименьшей глубине. В результате ни одна из четырех бурившихся здесь скважин (1110—1113) не достигла зоны разлома. Тем не менее даже предварительный обзор материалов показывает, что некоторые из поставленных задач были решены.

Установлено, что связанное с рифтингом континентальной коры погружение северной окраины бассейна (поднятие Вудларк, скв. 1109, 1115, 1118), где вниз по разрезу прибрежные осадки переходят в шельфовые и затем в батинальные, началось

в конце миоцена — начале плиоцена и было диахронным, т.е. отложения омолаживались с юга на север, от оси бассейна к флангам. Раскол сопровождался вулканизмом взрывного характера, на что указывают слои вулканического пепла в разрезе осадков, особенно многочисленные и мощные в нижнеплиоценовом и плейстоценовом интервалах

Интересные данные получены по разломам. Оказалось, что повсеместно преобладают сбросы, которые, однако, всегда сопровождаются косыми и сдвиговыми разломами. При этом количество последних увеличивается при движении от северных скважин к южным по направлению к горе Морсби, что согласуется с предполагаемым движением вдоль сбросов западно-северо-западного направления, которое захватило также данную структуру.

Проведенные температурные измерения в скважинах выявили закономерное увеличение термального градиента от 31 и 28°C/км в наиболее удаленных от оси впадины скважинах 1115 и 11109 до 100°C/км в скважине 1108 в центральной части самой впадины.

В рейсе, кроме того, обнаружена живая популяция бактерий на глубине более 800 м ниже дна океана (скв. 1109, 1115, 1118), что значительно расширяет пространственные пределы земной биоты и может привести к пересмотру многих взглядов на биоразнообразие, генерацию углеводородов и даже на происхождение жизни на Земле. ■

## Литература

1. Taylor B., Huchon Ph., Klaus A. et al. // Proceeding of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. 1999. V.180.

# Тундростепи плейстоценовой Берингии и современные насекомые

Д.И.Берман

Атлантиду, Арктиду и Берингию объединяет общая судьба территорий, ставших морским дном, но в отличие от первых двух Берингия не миф, а реальность, хотя и не лишенная мифических черт. Как известно, 120–140 веков назад уровень Мирового океана был ниже современного на 90 м. Мелководный Берингов пролив обсыхал, соединя Азию и Америку «мостом», который, замечу, был шире Аляски и тем более Чукотки. Обнажившийся шельф на многие сотни километров нарастил материка, особенно по северу и востоку Сибири, в Чукотском и Беринговом морях (Охотское же море осушилось почти полностью), и вместе с Чукоткой и Аляской образовал географически единую гигантскую страну — Берингию. В основном свободные ото льда Аляска и Канадский Юкон соединялись с внутренними территориями материка лишь узким коридором («хвостом Берингии», по выражению Д.Гатри [1]), зажатым двумя гигантскими глетчерами — Лаврентийским и Кордильерским щитами. На Чукотке, а также в бассейнах Индигирки и Колымы горы тоже были покрыты ледниками, которые, однако,



*Даниил Иосифович Берман, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биоценологии Института биологических проблем Севера ДВО РАН (Магадан). Область научных интересов — адаптивная стратегия северных организмов, биогеография Берингии.*

не шли ни в какое сравнение с американскими.

Животный мир в этих краях был богат и разнообразен. В изобилии водились как травоядные животные (мамонт, бизон, дикие лошади, северный олень, сурок, суслик, лемминг), так и хищники (медведь, волк, россомаха, песец и др.). В наши дни в тундре известны целые кладбища их многочисленных костных остатков, вымываемых на поверхность ручьями и ре-

ками, а то и просто торчащих из земли.

Впрочем, все это хорошо известно, описано во всевозможных научных и популярных трактатах и даже отображено на полотнах художников-анималистов, а потому мало у кого вызывает сомнения. Попытки интерпретировать эти необычные сочетания видов как реально существовавшие в особых климатических и ландшафтных условиях плейстоцена появи-

© Д.И.Берман



лись еще в первой половине прошлого века; тогда же был предложен и специальный термин для таких ландшафтов — «тундростепи» [2]. В 1967 г. палеонтолог А.В.Шер дополнил привычный список мамонтовой фауны обнаруженной на Колыме сайгой (*Saiga tatarica*) — антилопой, ныне обитающей в сухих степях и полупустынях Калмыкии, Казахстана и северной части Средней Азии. В плейстоценовых отложениях были обнаружены и остатки хитина степных (вместе с тундровыми) жуков. В 60-е годы была разработана стройная концепция тундростепных (перигляциальных) биоценозов, не имевших полных современных аналогов и пришедших в упадок на рубеже плейстоцена и голоцена [3, 4]. Суть этой концепции в том, что присутствие тундровых и степных организмов в одном горизонте — свидетельство существования в былые времена тундростепных ландшафтов. Ныне их нет не потому, что вымерли и мамонт, и шерстистый носорог, и иже с ними, а потому, что северный олень и сайгак, тундровые и степные жуки и растения не встречаются сейчас на Земле вместе. Странное сочетание, но не случайное: смешанный состав флоры и фауны из разных зон уже выявлен во множестве ископаемых проб, отобранных на огромном пространстве — от низовьев Лены до р.Анадырь, а в Америке — от Берингова пролива до р.Макензи.

Естественно, реконструировать не существующие ныне ландшафты невероятно сложно, ибо нет тому примеров в современном мире, а суммирование требований экологически разных животных и растений может привести к изобретению химер. (Справедливости ради замечу — некоторые коллеги рассматривают тундростепи именно так.) Поэтому геологи, мерзлотоведы, климатологи, палеонтологи и другие специалисты нередко

расходятся во мнениях, когда речь заходит о характеристике хотя бы основных черт тундростепных ландшафтов Берингии.

Казалось бы, нет ничего проще, чем воссоздать ландшафты Берингии, опираясь на знания о мамонте — наиболее известном животном ледниковых периодов. Однако на самом деле знаем мы о нем досадно мало. И не о деталях речь, а о самом главном. Например, какой образ жизни он вел: оседлый, как современный овцебык, или кочевой, как северный олень, уходящий летом в тундру, а зимой — на юг, в лесотундру? Или чем питался: ветками деревьев и кустарников, как современные слоны, или — травой, лишайниками, которые мамонт якобы сгребал нижними закруглениями бивней? Как добывал воду для питья зимой, или вовсе не пил, а прихватывал снег, как многие арктические животные? И наконец, что же его окружало: тундры, арктические прерии или гипотетические тундростепи? Важнейший аргумент в пользу существования тучных лугов (арктических прерий) — сами же... мамонты. Логика тут проста: деревьев не было (или было мало), значит, мамонты ели траву или лишайники (и зубы для этого приспособлены), а раз траву, значит, ее было много (лишайников так много быть не может). Ну очень много, так много, что огромным стадам мамонтов и их столь же травоядным спутникам хватало. Вывод: мамонты жили в высокотравных ландшафтах, по-научному, да и романтичнее, — в арктических прериях...

Недавно подобную логическую цепочку выстроил весьма уважаемый коллектив геологов и географов для обоснования якобы имевших место сезонных миграций мамонтов: мамонт — это северный слон, слон выпивает в сутки около 200—300 л воды, которой зимой не добыть, значит — мамонты уходили зимой на юг в поисках не замерза-

ющих рек... Я несколько утрирую, но смысл — именно в этом.

Как видите, не так много мы и знаем, а ведь последние мамонты жили на о.Врангеля чуть более 30 веков назад, т.е. когда египтяне уже умели писать!

## Насекомые — индикаторы среды

В отличие от пыльцы растений и костей животных, почти не страдающих от перемещений с ветром или водой на дальние расстояния, хитин насекомых более уязвим — он легко крошится или истирается в воде о песок и гальку. А потому находка хитина насекомых в отложениях означает, что они жили именно здесь — в месте и во время формирования отложений. При этом существует довольно много насекомых весьма капризных к условиям существования, что делает их ценнейшими индикаторами, своеобразными термо-, гидро- и прочими датчиками. Более того, хитин насекомых в отличие от пыльцы и спор растений определяется до вида, а значит, заключение энтомологов — очень высокой (может быть, даже самой высокой) надежности.

Появилась надежда, что эти особенности насекомых помогут ответить для начала на три важных и интересных вопроса. Во-первых, хотелось бы знать, на что были похожи тундростепи: на высокотравные луга, способные прокормить массу громадных травоядных, или на нынешние разбросанные по тундре мелкими клочками сухие участки со степными растениями, где от травинки до травинки больше, чем сама травинка? Во-вторых, что за климат был в холодные эпохи в Берингии? Многие специалисты утверждают, что средняя температура января опускалась ниже  $-60^{\circ}\text{C}$ , да и лето было весьма холодным. И наконец, была ли Берингия единой географической



*Пилюльщик Moruchus viridis* — самый массовый жук северо-востока Азии во времена плейстоцена — благоденствует и ныне.

Фото К.Миккола



Торчащие из земли одиночные бивни мамонта — в тундре не редкость. Для местных жителей они такие же ориентиры, как в пустыне для бедуина кости павшего верблюда.

Фото А.Кречмара

страной, и в какой мере различались северо-восток Азии и северо-запад Америки? Считается, что эти регионы были тундростепными и похожими друг на друга, а осушенный Берингов пролив служил своеобразным влажным и холодным фильтром на путях миграции сухолюбивой биоты.

Энтомологи, занимающиеся ископаемыми насекомыми, хорошо знают, что в грунтах северных равнин (от Лены до Анадыря), относимых к холодным ледниковым эпохам четвертичного периода, среди хитина, принадлежащего 200—220 видам когда-то захороненных насекомых, большую долю (до 60—80%) занимают остатки жука морихуса зеленого (*Moruchus viridis*) из семейства пилюльщиков [5]. Этот металлически-зеленый небольшой жучок раза в полтора меньше обычной божьей коровки, но не круглой, а более удлиненной формы, напоминающей пилюлю (отсюда название семейства). Никакими особыми достоинствами в отношении

сохранности хитин морихуса не обладает — он ни толще, ни тверже, ни пластичнее. А потому приходится признать: обилие остатков морихуса в отложениях — свидетельство того, что прежде в этом месте его было много. Поскольку остатки морихуса обнаружены в разрезах по всему северо-восточному сектору Российской Арктики и в горизонтах разного возраста, есть все основания считать, что жук мог жить где угодно. Как ворона или лисица — в любой природной зоне, в любых ландшафтах. Понятно, что индикационное значение таких видов невелико.

Занимаясь изучением современной фауны жуков в верховьях Колымы и пытаясь обловить как можно больше мест простейшими земляными ловушками, мы случайно нашли зеленого морихуса благоденствующим ныне. Именно благоденствующим, ибо численность его порой достигала 40 особей на 1 м<sup>2</sup>. Но и это еще не все. Оказалось, что зеленый морихус живет по всему северо-вос-

току Азии, но всегда в одном и том же биотопе: своеобразных горных холодных степях, точнее — в сообществе маленькой сухолюбивой осочки (*Carex argunensis*) и небольшого числа степных, а иногда и тундровых, растений, но непременно в присутствии мха *Polytrichum piliferum*. На этом мошке (иначе его не назовешь, уж очень низкоросл он в холодных степях) живут и питаются личинки морихуса. Никакие другие растения им не подходят. Мох этот — космополит, однако морихус живет только там, где есть еще и осочка, которая как бы очерчивает круг биотопов этого мха по влажности. Иными словами, есть осочка — есть зеленый морихус.

Важнейшее условие жизни для осочки — отсутствие снега зимой. Жесткие ветры сдувают его, а вместе с ним выносятся (вернее, вымораживаются из-за отсутствия снега) из сообщества конкурирующие с осочкой и мхом растения — быстрорастущие, более рослые и затеняющие или же сохраня-

ющие в почве излишнюю для осочки влагу. Такие условия — и чтоб сухо было, и чтоб ветер зимой был хотя бы иногда, но сильный — существуют отнюдь не везде даже в горах. Действительно, холодные степи с осочкой располагаются не на самых приветливых местах — вдоль гребней хребтов, перегибов склонов, по бровкам террас. Поскольку все растения сообщества с морихусом сухолюбивы, но в отношении тепла неразборчивы, их можно найти и высоко в горах, и на скалах по берегу моря, и на Чукотке, и на Колымском нагорье.

Высота осочки 5–10 см, мха — и того меньше, общая продуктивность растительного покрова ничтожно мала. Что и говорить, такое не то что высокотравными, но даже просто лугами не назовешь, одним

словом — пустоши. И только в этих биотопах живет зеленый морихус. Столь строгая специализация позволяет использовать морихуса в качестве уникального индикатора ландшафтов и, что самое главное для нас, воссоздавать с определенной долей уверенности обстановку, окружавшую его много веков назад. Сейчас такие биотопы — редкость, располагаются они в местах со всевозможными экстремумами: и температур, и влажности, и ветра. А что же было раньше, в плейстоцене? Чтобы быть последовательным, придется признать, что во время длительного периода формирования отложений, содержащих остатки морихуса, господствующие ландшафты были сухи, ветрены, бесснежны и, что важно, — ничтожно продуктивны [6].

## Ландшафт

Как же соотнести бесспорное существование бесчисленных крупных травоядных животных с предполагаемой бедностью растительного покрова? Трудно, но можно. Вспомним, что овцебык зимой на о.Врангеля живет в биотопах не только почти бесснежных, но и с бедной растительностью, так что трудно представить, как он умудряется прожить на столь скудном рационе. Северный олень также кормится на малопродуктивных (для прочих копытных) пастбищах лишайниками, практически не съедобными для других животных. Да и нужно ли связывать травоядных животных с господствующим ландшафтом? Например, лоси в лиственничном лесу погибли от голода, но прекрасно себя



*Хребет Большой Анначаг в верховьях Колымы. Глухой колымской зимой все под снегом, и только гребни хребтов оголяются ветрами, не частыми, но сильными в регионах с преобладанием погоды антициклонального типа. Вместе со снегом сносится мелкозем, камушки и лишайники. Вот на этих-то и им подобных «ветроударных» местах могут существовать осочковые сообщества.*

Фото автора



чувствуют вдоль рек, текущих среди тех же лиственничников, ибо в долинах обычно изобилие ив, осины и молодых сосен. Все известные пастбищные системы, будь то в Африке или Тибете (естественные или хозяйственные), едины по крайней мере в одном: животные, чтобы не стравить собственные пастбища и не погибнуть от голода, вынуждены постоянно кочевать. Лучший тому пример — северный олень. Может, и в плейстоцене было так же: животные кочевали по огромным пространствам.

Несомненно, среди ученых найдется немало противников «морихусной» модели, считающих, что большой мамонт мог прокормиться только на высокогорных пастбищах. Однако, рискуя навлечь на себя гнев «отцов-основателей» берингской палеонтологии и апологетов арктических прерий, позволим себе напомнить, что никто и не пытался корректно оценить численность мамонтовой фауны. Безусловно, огромные скопления костей крупных животных производят ни с чем не сравнимое впечатление. Вот реальный пример: в известнейшем всем палеонтологам-четвертичникам месте на Колыме под названием Дуванный Яр (десятки километров высокого обрывистого берега с обильными костеносными горизонтами) в конце августа 1997 г. вода спала и обнажила узкую полосу берега под обрывом (бечевник), где в пределах 2 км пути палеоэколог С.А.Зимов нашел останки более десятка мамонтов! Система счета проста: пять бедренных костей — два мамонта, два левых бивня — еще два мамонта, большой и два малых правых бивня — три мамонта и т.д. А сколько же особей приходилось на 1 км<sup>2</sup> — страшно даже считать. Однако нельзя забывать, что кости этих животных вымыты из толщи, формировавшейся в течение 40 тыс. лет. Сколько времени они пролежали на бечевни-

ке и не смывались паводками — можно только гадать. На сколько метров за это время берег отступил? Сколько скелетов павших когда-то животных остались на месте, а не были растащены хищниками? Не исключено, что трупы сносились по реке в тихие заводи многочисленных проток гигантских дельт, где и скапливались кости, удивляя нас теперь количеством. Да мало ли что могло быть, мы не знаем даже, как и по каким причинам происходило интенсивное отложение взвесей, быстро погребавших останки животных. Ясно только, что огромные скопления костей — результат их быстрой консервации без доступа воздуха и при стабильно низких температурах, исключая разрушительное даже для камня многократное замерзание-оттаивание воды в трещинах или порах костей. Так, может быть, и не было огромных стад животных, а значит, не нужны были тучные пастбища?

## Климат

Разобраться с климатом в Берингии еще сложнее, чем с растительностью. Этим занимаются ученые разных специальностей. Климатологи строят сложнейшие модели циркуляции атмосферы ныне и в прошлом. Гляциологи, мерзлотоведы, геохимики оценивают былые температуры по соотношению изотопов кислорода в газовых пузырьках льда. Геоморфологи изучают следы древних оледенений. Палеоботаники исследуют извлекаемую из отложений пыльцу растений. И наконец, палеогеографы суммируют все добытые сведения. В результате вывод один: в Берингии было жутко холодно и очень сухо.

Безразличный к температурам морихус позволяет уверенно судить о неперемнной сухости почвы летом и сильных ветрах зимой. Чтобы попытаться

понять, какой все же был климат, при котором одновременно жили и степные, и тундровые виды, обратимся к другим жукам. Но сначала про степи и тундры на северо-востоке Азии.

Здесь по долинам крупных рек сохранились крошечные (1—5 га) участки степной растительности, населенные степными же насекомыми. Существование столь экзотических сообществ в окружении, казалось бы, чуждой для них северной лиственничной тайги оказалось возможным благодаря тому, что: во-первых, такие участки располагаются на крутых склонах долин, обращенных на юг; во-вторых, в крайне континентальном климате даже небольшое количество солнечного тепла (относительно южных широт) не задерживается безоблачным небом, не рассеивается прозрачайшим, лишенным пыли воздухом, а максимально тратится на нагревание поверхности почвы. Летом она разогревается до 60°C, а суммы температур за теплый период достигают 2500°C — как в горных степях Алтая или Тувы. Мерзлота есть, но лежит она на глубине 2.5—3 м, и не слитная, ледяная, а сухая — отдельными кристаллами, и по сему не ощущается на поверхности. Высокие температуры иссушают почву: испаряемость в июле около 200 мм — как в полупустынях, например нижней Волги. (На северных склонах в тех же долинах суммы температур в почве едва превышают 800°C, а мерзлота подходит к поверхности на 30—40 см, под ногами даже на крутых склонах хлябает, почва оползает, деревья «пьяные», одним словом — «висячие болота».) В столь теплом и сухом микроклимате сохранились некоторые виды жуков, из которых наибольший для нас интерес представляют долгоносики, или слоники (*Curculionidae*), и листоеды (*Chrysomelidae*). Эти насеко-



мые сейчас населяют зональные и горные степи юга Сибири, обнаружены они и в плейстоценовых отложениях. Так как островки степей совершенно изолированы от зональных непроходимыми для степных организмов северо-таежными лесами и болотами, их можно считать несомненными реликтами холодных эпох плейстоцена. Казалось бы, нет лучшей модели для реконструкции плейстоценовых сообществ! Однако на реликтовых степных участках морихус редок, а по соседству, в немногих километрах, иногда на той же высоте, но на «ветроударных» местах с участками осочковых группировок, он — самый массовый или на худой конец — вполне обычный жук. Но тут нет наших теплолюбивых слоников и листоедов. Таким образом, модель «от степных долгоносиков и листоедов» ведет к высоким температурам почвы и «горячим» степям, аналогичным южносибирским и монгольским; «от морихуса» — к холодным, с неперменной малоснежностью, сильными ветрами зимой и ничтожной продуктивностью растительности. Общее у них — лишь сухость.

Тундры в большинстве случаев (кроме очень уж высоких широт) — приморское явление, результат близости свободных ото льда (пусть и на очень короткое лето) полярных вод. Над водой стоит низкий плотный туман, сносимый на прилегающие территории и укрывающий их варварским компрессом, съедающим и без того ничтожное тепло, приходящее здесь на Землю. Сыро, холодно, одним словом — промозгло. Как совместить с сухой и почти всегда солнечной степной обстановкой? Не могут тут жить никакие степные виды организмов. Но ведь жили же!

Попробуем не на глаз, а в цифрах оценить потребности степных и тундровых жуков в тепле. Для этого есть вполне

интересный, не опробованный еще в России метод. Суть его в следующем. Предположим, мы извлекли насекомых из отложений и хотели бы знать, при каких температурах (например, средних за июль и средних за январь) они жили. Технически задача решается просто: надо выписать из климатических справочников значения июльских и январских температур метеостанций, ближайших к местам современного обнаружения видов насекомых. Для каждого вида по этим данным будет очерчен температурный «ареал», или температурный диапазон существования. Теперь наложим все диапазоны друг на друга. Чем больше видов, тем меньше область (в идеале — точка) совпадающих значений. Эта область (или точка) характеризует по одной оси температуры июля, по другой — января, равно приемлемые для всех испытываемых видов. По этой области можно судить и о климате, в котором формировались изучаемые отложения.

Для степных видов средние значения общих диапазонов температур июля оказались равны 17–18°C (такие температуры характерны, например, для центральной, степной, части Тувы), для тундровых — только 7–9°C (как на Таймыре). А не для средних значений — все-таки существует область общих июльских температур, одинаково пригодных для обитания степных и тундровых видов! Она узка, всего несколько градусов: от 11°C до 14°C, а может быть и меньше. Примечательно, что ныне в низовьях Колымы (пос.Черский) средняя июльская температура 12.1°C. Однако Черский расположен в лесной зоне, а граница с тундровой зоной проходит чуть севернее, в местности с ярким названием Край Леса. И на окраине поселка, и по берегу Колымы у Край Леса сохранились реликтовые степные участки, хотя и с не богатой, но все-таки степной фау-

ной. Эти участки лежат, конечно, только на крутых склонах (на горизонтальных поверхностях не хватает тепла) со своим значительно более теплым микроклиматом. Чем ближе точка обнаружения насекомого к климатической границе его ареала, тем больше уклоняется микроклимат его местообитания от фонового климата. В плейстоцене тундростепи занимали обширную равнину нынешней Индигиро-Колымской низменности, с некоторой натяжкой можно считать, что равнины в плейстоцене были настолько же теплее, насколько теплее степные участки фоновых территорий ныне. Как известно, море в позднем плейстоцене находилось много севернее современных берегов, и уже только этого достаточно, чтобы климат здесь был более континентальным. Если же допустить существование мерзлотного микро рельефа на равнине в виде регулярной сети так называемых полигонов (в центре понижение с водой — «ванна», вокруг — вал вздыбленного мерзлотой грунта), то все устроится лучшим образом. Клочки степных сообществ с теплолюбивыми жуками найдут свое место на южных откосах валиков, фрагменты «морихусных» холодных степей — на плоских, торчащих над снегом и потому обдуваемых зимой «водораздельных» поверхностях этих же валиков. На северных микросклонах поселим, разумеется, группировки тундровых растений (этакие клумбы) с тундровыми жуками; а в «ваннах» — пышную болотную растительность, коей, наконец, и «накормим» многочисленных травоядных...

Теперь о зимних характеристиках. Общие для тундровых и степных жуков минимальные температуры верхних слоев почвы в местах зимовки насекомых были близки к современному: –16 — –18°C; при вероятных средних температурах



*Узкая полоса травянистой растительности по бровке хребта Большой Анначаг — это кусочек холодной степи с осочкой *Carex argunensis*. Шаг вправо, шаг влево — и уже другие сообщества.*

*Фото К.Миккола*



*Типичное озеро в Чукотской тундре.*

*Здесь и далее фото А.Кречмара*





*«Белошные» лиственничники (вверху) — прекрасные зимние пастбища для северных оленей, а долины рек, заросшие ивами, — настоящий «дом» для лосей.*



воздуха в январе  $-45$  —  $-47^{\circ}\text{C}$  и невысоком в среднем снежном покрове (континентальность большая, значит, осадков мало) комфортные для насекомых условия могли быть только под снежными надувами. Мерзлотный микрорельеф даже при небольших зимних осадках способствует неравномерности снежного покрова...

Такая модель очень удобна, даже — изящна в своей простоте и, самое главное, умиротворяюще компромиссна. Единственный ее небольшой, мягко говоря, недостаток — она лишена фактических оснований, так — игра воображения пока что. Значительно реалистичнее другой подход, тоже позволяющий «удобно» поселить вместе разные по требованиям к условиям обитания сообщества. Любая река на любой равнине создает неоднородности рельефа, разрушая берега в одном месте и откладывая смытый материал в другом. Так, например, формируются береговые валы вдоль русел и пойменные террасы. Наиболее высокие части их, как правило, лучше просыхают, давая приют сухолюбивым растениям и беспозвоночным, участки повлажнее — всяким влаголюбивым формам, а в понижениях, по болотам, — гигрофилам.

Подведем итог. Изучение жуков позволило получить поразительно высокие (относительно почти всех оценок наших предшественников) температуры и лета, и зимы. Трактовать их можно по-разному: либо последний ледниковый период был не такой уж и суровый, либо сейчас тоже (судя по температурам) ледниковый период без оледенения. Но самое важное — лето верхнего плейстоцена отличается от современного лишь несколькими градусами. Иными словами, достаточно небольшого климатического сдвига — и современная ландшафтная обстановка на Севере может резко измениться.

Достичь главной цели — примирить три конфликтующие модели, опирающиеся на «морихуса», «теплолюбивых жуков» и «тундровых жуков», — пока не удалось. Но и задача не из ординарных.

## От Чукотки к Аляске

Все сказанное о климате Берингии относится лишь к той азиатской ее части, которая лежит западнее Чаунской губы, потому, что восточнее, на Чукотке, пока не собран ископаемый материал, содержащий остатки насекомых. Зато его удалось добыть со дна нынешнего Берингова пролива американским исследователям. Дальше, на Аляске и Канадском Юконе проводились обширные палеонтологические работы в нескольких пунктах. Если аккуратно сравнить имеющиеся данные по количеству и экологической принадлежности общих видов на супротивных оконечностях материков, можно получить свидетельства былых обменов и тем самым — ландшафтной обстановки на мостах.

И ботаники, работающие с современной флорой, и палеонтологи, изучившие мамонтовую фауну обеих оконечностей материков, уверенно считают не покрывавшуюся в плейстоцене льдом Аляску и Канадский Юкон продолжением северо-восточной Азии. Крупнейший американский палеонтолог К.Репеннинг еще в 1967 г. писал об обнаружении остатков ископаемых полевок сибирской фауны, относящихся к холодным эпизодам плейстоцена Аляски («It is a Siberian fauna found in Beringia on the wrong side of Bering Strait») [7]. Американские палеонтологи Д.Метьюз и А.Телка назвали Канадский Юкон тупиком мамонтовой азиатской степи [8]. Единственный из гигантов азиатской Берингии — шерстистый носорог — не известен

в Америке. Он был широко распространен на северо-востоке Якутии и в бассейне Колымы, где собраны поразительной сохранности передние (большие) рога носорога. Иными словами, в Америку из Азии «пускали» тогда практически всех, а вот многим американским животным не удалось проникнуть в Азию. Яркий тому пример — короткомордый медведь — этакая смесь грации прекрасного бегуна гепардовых пропорций и тупой тяжеловесности морды гиены. Не найдены в Азии и американский верблюд, и наземный ленивец, и мастодонт, и ягуар, и койот и некоторые другие. Не так уж и мало для территории, объявленной продолжением, напомним и подчеркнем, тундростепных ландшафтов северо-восточной Азии.

Отнюдь не полная тождественность фаун двух оконечностей материков, требуя объяснений, породила представление о мокром и холодном «фильтре», роль которого играла центральная часть Берингии (не строго — территория осушенного Берингова пролива), по представлениям — менее континентальная, чем в те времена и Чукотка, и Аляска. Д.Гатри назвал ее «влажной пряжкой» на непрерывном «бизоньем поясе» [1], иными словами — поясе мамонтовых сухих и холодных ландшафтов.

И все же внимание палеонтологов было привлечено в первую очередь именно к сходству, а не к различиям фаун (вопреки Иосифу Бродскому, справедливо полагавшему, что «легче различье найти, чем сходство...»). И тут могут быть неоченимо полезны наши тонкие индикаторы среды — беспозвоночные животные. Сравнение по группам насекомых (муравьев, шмелей, клопов, саранчовых, бабочек, разных семейств жуков) и пауков современных фаунистических комплексов северо-восточной Азии и Аляски с Канадским



Юконом дает не один, а целый калейдоскоп результатов. Так, состав группы общих для обоих материков видов жужелиц указывает на преимущественно лесные и тундровые связи; жуков-долгоносиков — на лесные, луговые и в меньшей мере тундровые; клопов — в основном на луговые, муравьев — преимущественно на лесные. В то же время общих видов саранчовых для азиатского и американского континентов очень мало, значит, не интенсивны были и их обмены.

Таким образом, получилась не одна «групповая фотография», а как бы много слайдов, наложенных друг на друга, с одним и тем же пейзажем, снятым с одной точки, но в разное время и с разным передним планом, — не очень-то и поймешь, что изображено. В данном случае мы имеем дело с наложением результатов многократных по времени обменов: и плейстоценовых, и происходивших много раньше, как минимум в верхнем плиоцене. На плейстоценовые обмены указывает масса общих тундровых видов во всех группах, на верхнеплиоценовые — лесные, ибо в это время Берингов мост соединил в единый пояс азиатские и американские леса.

Судя по составу общих видов и опираясь на климатические модели, можно предполагать, что климат центральной Берингии по температуре и влажности воздуха и почвы соответствовал условиям современных зональных тундр, а по некоторым данным — был «хуже» современных. Этот вывод полностью соответствует результатам анализа остатков растений и насекомых, поднятых со дна Берингова пролива, о которых мы уже упоминали. Впрочем, это не исключает, что на наиболее сухих местах обитали приспособившиеся к недостатку тепла виды степных растений, но отсутствовали степные беспозвоночные животные [9].

А вот и свидетельства того, что мокрый и холодный «фильтр» осушенного Берингова пролива работал успешно: общих степных видов во всех сравниваемых группах, независимо от их объема, мало, всего-то полтора десятка. Более того, к строгим степным (термофильным) обитателям могут быть отнесены буквально единицы: по одному виду клопов, бабочек и пауков, таксономия, экология и распространение которых изучены явно недостаточно. Остальные степные виды, хотя и сухолюбивы («ксерофилы»), но не требовательны к летнему теплу, поэтому живут не только в степной зоне, но и на сухих лугах в лесной и даже в тундровой зонах. Одним словом, их нельзя использовать в качестве индикаторов среды на путях миграции. Они не свидетельствуют о степной обстановке на мостах, так как могли мигрировать не в позднем плейстоцене, а значительно раньше — в позднем плиоцене или раннем плейстоцене — по лесным полянам уже распадавшегося из-за общего похолодания климата пояса трансберингийских лесов, которые становились все суше и светлее (за счет замены темнохвойных пород на светлохвойные и мелколиственные). Так что никаким степным или тундростепным, судя по составу общих видов насекомых и пауков, Берингов мост в плейстоцене не был.

Этот важный, хорошо статистически обоснованный вывод (поскольку проанализирован на многих сотнях видов беспозвоночных животных) подтверждается и палеонтологическим материалом. В плейстоценовых отложениях Америки нет азиатских степных жуков, столь характерных для плейстоцена северных низменностей северо-восточной Азии. Они не проникли сюда, и доминантный комплекс жуков в тундростепях северо-западной Америки состоит из американ-

ских же видов. Иными словами, мокрый и холодный «фильтр» Берингова перешейка пропустил млекопитающих и степные растения, но оказался непроницаемым для более чувствительных к условиям среды степных жуков. Подобные ситуации известны: например, на о.Врангеля в тундростепных группировках мы не нашли степных видов беспозвоночных; на Чукотке при весьма разнообразной степной флоре степные виды беспозвоночных единичны.

Все хорошо совпадает. Беда только в том, что Беринговым мостом не воспользовались не только степные, но и многие другие виды, которых никак не обвинишь в привязанности к сухости, к высоким температурам и вообще к степям. К примеру, северные шмели — этакое любители влажного холода. На северо-востоке Азии и на Аляске с Канадским Юконом их примерно по 20 видов, однако общих только четыре (обитатели Арктики и горных тундр Субарктики). Но в высокогорьях Субарктики северо-восточной Азии известно еще с десятков видов, ну никак не степных, отсутствующих на противоположном берегу. Даже на о.Врангеля есть виды шмелей, не проникших на Аляску. Примечательно, что шмели эти неразборчивы в еде — могут питаться тем, что в массе цветет в данный момент. Да и летуны они превосходные, даже летние пурги им не помеха. Что препятствовало неспешному расселению азиатских видов на Аляску, а американских в Азию? Нечто похожее произошло и с саранчовыми — характерные для горных тундр (где и сыро, и холодно, и лето короткое) виды, доходящие ныне до Чукотки, не прошли в Америку. Подобных примеров множество, но не могу удержаться еще от одного — полной загадкой выглядит распространение дождевых червей (хотя они и не насекомые, но очень уж в тему). На северо-



*Берега тундровых озер нередко разрушаются из-за таяния ледяных жил, и озеро может «вытечь». Ложе такого спущенного озера зарастает сочными высокими травами. Это и есть одна из моделей мамонтовых пастбищ.*



*Туман в тундре — порождение близости холодного, не покрытого льдом моря.*

востоке Азии мы нашли два вида: один обитает только на побережье Охотского моря, второй, эйзеня (*Eisenia nodenskioldi*), — везде. Для второго северо-восток — окраина обширнейшего ареала, охватывающего всю область вечной мерзлоты и широченную ее окаймляющую «полосу», на востоке Европы по дубравам он идет далеко на юг. Червь переносит морозы до  $-40^{\circ}\text{C}$ , зима на любой стадии развития; летом довольствуется скудным теплом тундровой почвы, подставляя тело прямым солнечным лучам — губительным для большинства почвенных животных; может месяцами, не питаясь, ждать дождей в построенных им герметических капсулах. Терпит и многие другие неудобства, а потому у него такой гигантский ареал: от влажных участков в степях до тундр, включая острова Охотского моря и о.Врангеля. Кстати говоря, на острова он мог проникнуть только посуху, т.е. тогда же, когда была сухопутная связь с Америкой.

Но в Америке его нет, как нет на Аляске и в Канадском Юконе никаких других дождевых червей. Последнее понятно — только эйзеня из всех известных червей способна переносить столь низкие температуры. Не могла ведь «влажная пряжка» Берингова моста быть препятствием для миграции нашего червя (как и шмелей, и саранчовых) в Америку. Пока не предложено ни одной гипотезы для объяснения этих феноменов...

Правда, помимо представлений о «фильтре» существует и как бы параллельная точка зрения: пришельцев из Америки «не пускали» сложившиеся сообщества организмов, лучше приспособленных к суровой обстановке азиатской Берингии и, таким образом, более конкурентоспособных. Могла ли конкуренция повлиять на отсутствие шерстистого носорога, азиатских видов шмелей, саранчовых, эйзеня и других животных на американском берегу Берингова пролива, или дело в «фильтре», а может

быть, — в их совместном или раздельном действии (в каждом конкретном случае)? Однако уже сейчас ясно, что Аляска с Канадским Юконом были ландшафтным продолжением азиатской тундростепной Берингии для млекопитающих, в какой-то мере для растений. Несомненно, что для бизона или мамонта северо-восток Азии был мало отличим от северо-запада Америки, как, впрочем, и от юга Европы, где они также успешно существовали в плейстоцене. А по беспозвоночным животным эти территории были совершенно разными. Как и в большинстве случаев, прав был Н.В.Тимофеев-Ресовский, лукаво примирявший спорщиков на любые темы коронной фразой: «Все зависит от точки зрения. Но сначала определим понятия...» ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект № 98-04-50036.**

## Литература

1. *Guthrie R.D.* Late Pleistocene faunal revolution — a new perspective on the extinction debate // *Megafauna and man: discovery of America's heartland*. 1997. P.42—53.
2. *Тугаринов А.Я.* О происхождении арктической фауны // *Природа*. 1929. №7—8. С.653—680.
3. *Шер А.В.* // *Журн. общ. биологии*. 1990. Т.51. №2. С.163—177.
4. *Шер А.В.* Проблемы экологии плейстоценовых млекопитающих // *Актуальные проблемы морфологии и экологии высших позвоночных* / Ред. Т.Б.Саблина. М., 1988. Ч.2. С.432—464.
5. *Киселев С.В.* Позднекайнозойские жесткокрылые северо-востока Сибири. М., 1981.
6. *Берман Д.И., Алфимов А.В., Мажитова Г.Г. и др.* Холодные степи северо-восточной Азии. Владивосток, 2001.
7. *Repenning Ch.A.* Palearctic-Nearctic mammalian dispersal in the Late Cenozoic // *The Bering Land Bridge*/ Ed. D.M.Hopkins. Stanford, 1967. P.288—311.
8. *Matthews J.V. Jr., Telka A.* Insect Fossils from the Yukon // *Insects of the Yukon. Biological Survey of Canada (Terrestrial arthropods)*/ Ed. H.V.Danks, J.A.Downes. Ottawa, 1997. P.911—962.
9. *Юрцев Б.А.* Реликтовые степные комплексы северо-восточной Азии. Новосибирск, 1981.



## Скандал в японской археологии

Ранним утром 22 октября 2000 г. на пустынном в тот час раскопе древней стоянки Камитакамоори, что в 350 км к северо-востоку от Токио, появился крадущийся человек. Им оказался известный в стране чрезвычайно удачливый археолог-любитель С.Фудзимура (S.Fujimura). Небольшой лопаткой он вырыл несколько ямок, вложил туда по горстке камней, засыпал их землей и поспешно удалился (Science. 2001. V.291. №5501. P.34. США). Пять дней спустя он уже показывал свою «находку» группе журналистов, уверяя их, что это орудия людей каменного века, причем возраст слоя, в котором они залегают, почти 600 тыс. лет!

К несчастью для Фудзимур, всю его «операцию» скрытно сопровождали репортеры и фотографы, следившие за археологом уже полгода — с тех пор как пошли слухи о сомнительности его предыдущих открытий. Разоблачению жулика от науки была посвящена богатая иллюстрированная первая полоса популярной токийской газеты. Уже через несколько часов Фудзимура собрал пресс-конференцию, на которой полностью признался в содеянном как в Камитакамоори, так и еще на одной стоянке — на о.Хоккайдо. Предметам, которые он заложил в землю на этих раскопах, не более 30 тыс. лет.

Археологи давно установили, что на территории Северного Китая древний человек поселился более полумиллиона лет назад. С тех пор уровень Мирового океана не раз понижался, и Азиатский континент оказывался связанным с японскими островами сухопутными «мостами». Затем эти перешейки снова оказывались под

водой, но многие виды млекопитающих все же успевали переселиться на острова. А вот был ли среди переселенцев человек — оставалось загадкой. Возраст достоверных свидетельств появления людей на территории современной Японии оценивается в 30—35 тыс. лет, «находки» же Фудзимур раз за разом отодвигали это время все дальше в прошлое.

Восемь лет назад он вместе с двумя археологами-профессионалами основал Институт палеолитических исследований. Теперь «открытия» этого псевдонаучного учреждения считаются весьма сомнительными, хотя их автор клянется, что фальсифицировал находки лишь дважды (всего он вел раскопки на 33 стоянках, а участвовал в работе еще на 160). По мнению настоящих ученых, все это нанесло тяжелый удар японскому археологическому сообществу. Специалисты считают порочной установившуюся практику, когда пресс-конференции и интервью предшествуют научной публикации и ее рассмотрению авторитетными учеными. Археолог Т.Такеока (Т.Такеока; Женский университет Кёрицу, Токио) утверждает, что японская наука занята поиском не столько истины, сколько сенсаций.

Презим успехам фальсификатора косвенно способствовал авторитет почетного профессора Тохокского университета Ч.Серидзавы (С.Serizawa), обнаружившего в 60-х годах каменные орудия, которым, по его мнению, около 300 тыс. лет. «Находки» Фудзимур как бы подкрепляли суждения этого уважаемого специалиста.

Председатель Японской археологической ассоциации К.Амакасу (К.Amakasu; Ниигатский университет) призвал

коллег к созданию надежной системы анализа и перекрестной проверке всех новых находок с участием иностранных ученых. Можно надеяться, что эта история послужит хорошим уроком не только японским археологам.

## «Усмирение» вулкана Келуд

В январе—феврале 2001 г. Вулканологическая служба Индонезии в Бандунге установила, что озеро, находящееся в кратере вулкана Келуд (на о.Ява), претерпело заметные изменения: температура воды повысилась до 51.2°C, pH возросла до 5.3, а уровень зеркала поднялся на 60 см. Так как это означало усиление вулканической активности, степень опасности для многочисленного населения прилегающих долин была повышена до 2 по принятой в стране четырехбалльной системе (Bulletin of the Global Volcanism Network. 2001. V.26. №.2. P.2. США).

Келуд считается одним из наиболее опасных вулканов Индонезии. Известно 10 случаев, когда выплеснувшаяся из кратерного озера вода приводила к человеческим жертвам. Самое первое извержение в Индонезии, зарегистрированное в исторических документах, тоже «принадлежит» Келуду; оно случилось в 100 г. В 1586 г. скатившийся по склону селевой поток унес около 10 тыс. человеческих жизней.

Недавно от озера к долинам были проложены дренажные сооружения, которые позволяют контролировать уровень озера и сбрасывать часть воды, когда он становится опасным. Это, несомненно, значительно снижает угрозу, исходящую от Келуда.



# Конвекция в жидкости на земле и в космосе



П.К.Волков

## Невесомость или микрогравитация?

Течение жидкости зависит от того, в каком силовом поле оно происходит. В земных условиях это прежде всего — поле тяжести, характеризующееся ускорением свободного падения  $g_0 \approx 9.8 \text{ м/с}^2$ .

В космическом аппарате, движущемся по орбите вокруг Земли, на тела действуют, помимо силы притяжения, силы инерции: центробежная составляющая ускорения компенсирует ускорение свободного падения  $g$  в точках орбиты, и тела оказываются в невесомости. Но этот вывод, известный из школьной физики, не совсем точен. Указанная компенсация ускорений достигается только в центре инерции корабля, именно движение этой точки и задает орбиту последнего. Размер космического аппарата хотя и мал, но конечен, поэтому все тела на борту, в том числе и частицы исследуемой жидкости, находятся в поле нескомпенсированных сил, во многом напоминающем гравитационное. Испытываемое телами ускорение мало в меру отношения  $d/r \ll 1$  ( $d$  — поперечник корабля,  $r$  — расстояние точки орбиты от центра Земли), а на-



*Петр Константинович Волков, доктор физико-математических наук, начальник научно-исследовательской лаборатории Научно-производственного внедренческого предприятия «Турбокон», Калуга. Работа выполнена в Институте кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН, где автор был ведущим научным сотрудником Научно-исследовательского центра «Космическое материаловедение», руководил проектом исследований по физике жидкостей на Международной космической станции. Область научных интересов — гидродинамика и особенности роста кристаллов в условиях микрогравитации.*

правление вектора ускорения, как правило, медленно меняется при движении аппарата по орбите. Более того, точная компенсация величины  $g$  невозможна даже в центре инерции корабля. Случайные возмущения скорости аппарата и особенно толчки при стыковках — расстыковках с другими спутниками уведут корабль с расчетной орбиты и требуют регулярной коррекции ее высоты. В результате космическая стан-

ция совершает низкочастотные колебания вокруг центра инерции, иначе говоря, — прецессирует. Из-за отсутствия атмосферы эти колебания затухают очень медленно. Измерения, проведенные акселерометрами внутри космических аппаратов, дали для величины  $\mu g_0$  — квазистатической компоненты ускорения микрогравитации — значения  $\sim (10^{-5} - 10^{-6})g_0$  [1].

Случайные колебания летящего аппарата, воздействие на

© П.К.Волков

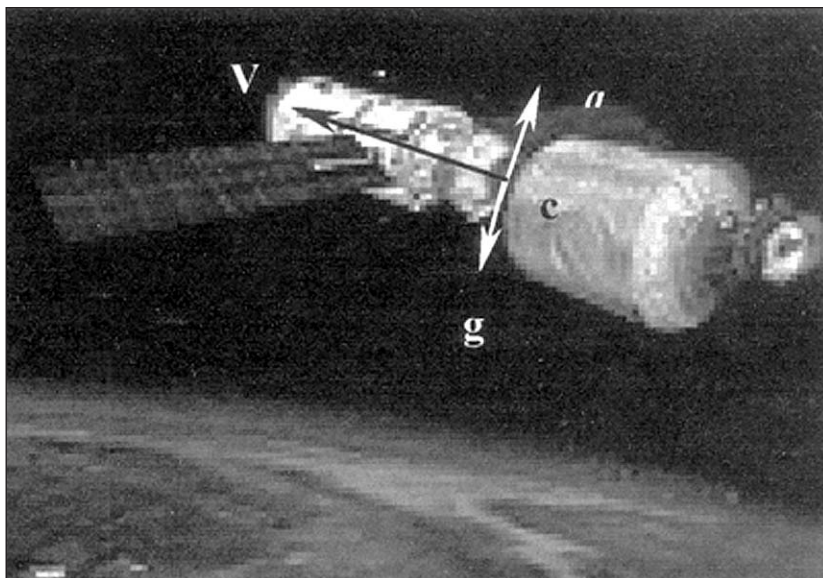


Рис.1. Модули «Заря» и «Unit» Международной космической станции. Отмечены центр тяжести комплекса (с), векторы ускорения силы тяжести (g), центробежного (a) и скорости движения станции (v) относительно Земли.

его корпус работающих механизмов (гироскопов, вентиляторов охлаждения, двигателей ориентации солнечных батарей и т.п.) создают на борту корабля специфический вибрационный фон. Жидкость, находясь в объеме, ограниченном твердыми стенками, испытывает колебательные воздействия, которые в системе координат, связанной со стенками, можно представить случайной силой, распределенной по всей массе жидкости. По земным меркам вклад в величину ускорения от вибрационных воздействий также мал:  $\sim(10^{-2}-10^{-4})g_0$  [2].

Квазистатическая компонента на два—четыре порядка величины меньше вибрационной, поэтому традиционно полем микрогравитации считается поле, создаваемое только второй компонентой. Именно такое представление — обычная основа всех оценок характера течения жидкости в условиях космического полета, необходимых при проведении технологических экспериментов [3].

На первый взгляд это предположение кажется естествен-

ным, однако — только на первый взгляд. В самом деле, правомерно ли сравнивать две принципиально различные характеристики: длинноволновую и коротковолновую? Квазистатические длинноволновые возмущения — долго действующие, медленно меняющиеся, поэтому именно на этом фоне развиваются коротковолновые возмущения. Исключение из рассмотрения квазистатической составляющей поля означает по сути, что в качестве фона выступает полная невесомость. Однако простой сравнительный анализ показывает, что воздействие коротковолновых возмущений проявляется тем сильнее, чем меньше величина фона. Таким образом, игнорировать квазистатическую компоненту никак нельзя. На это указывают и экспериментальные данные.

Более чем 20-летний опыт экспериментальных исследований, направленных на изучение поведения жидкостей и роста кристаллов в условиях космического полета, указывает на принципиальные отличия в протекании подобных процес-

сов на Земле и на борту корабля. Первые эксперименты по изучению конвекции на установке «Пион» [2] выявили качественные изменения в характере конвективных течений, в частности обнаружили преобладающую роль термокапиллярной конвекции. При плавлении наблюдались явления, не получившие тогда однозначного толкования: полный [4] или частичный [5] отрыв расплава от стенок ампулы. «Эффект грани» — нежелательное искажение формы поверхности монокристалла при выращивании его из расплава — нес следы микрогравитационной обстановки на борту [6]. Распределение примеси в сечении кристалла смещалось к боковой стенке [2]. Характерными были неполное расплавление образцов и неполное перемещение расплава, что не отмечалось в тех же условиях опыта на Земле [2]. Изучение массопереноса в смесях дало неожиданный результат: в условиях полета скорость переноса примесной компоненты оказалась существенно выше, чем ожидалось в предположении о переносе путем диффузии [7]. В экспериментах на высотных ракетах «Мир-2» [4] были зафиксированы аномально высокие скорости роста монокристаллов германия и кремния. Многочисленные данные приводят к двум важным выводам:

— в условиях космического полета процессы в жидкостях определяются воздействием слабых (по земным меркам) сил разной природы: капиллярных, термокапиллярных, микрогравитационных, инерционных, вибрационных и др.;

— принятое описание гидродинамики, основанное на формальном уменьшении силы тяжести, неадекватно.

Ниже мы проанализируем роль квазистатической составляющей микрогравитации, какую она играет в процессах тепло- и массопереноса в жидкостях, и продемонстрируем ее определяющее значение.

## Что говорит теория подобия

Рассмотрим вертикальный цилиндр радиуса  $R$ , заполненный жидкостью до высоты  $h$ . Боковые стенки и нижнее основание — твердые, верхняя граница — свободная. Жидкость имеет плотность  $\rho_0$ , кинематическую вязкость  $\nu$ , коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma_0$ . Температура всех точек нижнего основания одинакова и равна  $T_n$ , точек на оси цилиндра — уменьшается с высотой так, что вертикальный перепад равен  $\Delta T_n$ ; на свободной поверхности жидкости температура на краю выше на  $\Delta T$ , чем на оси. Профиль температур по образующей цилиндра и по радиусу на свободной поверхности считаем линейным. Поскольку вязкостью жидкости пренебречь нельзя, ее скорость на твердых границах считаем равной нулю (условие прилипания). На неизотермичной свободной поверхности принимаем линейную температурную зависимость коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma = \sigma_0[1 - \kappa_\sigma(T - T_0)]$ ,  $\kappa_\sigma$ ,  $T_0$  — константы. Сформулированные условия типичны при моделировании роста кристаллов из расплава [3, 8].

Жидкость на Земле испытывает действие силы тяжести, характеризуемое ускорением свободного падения  $g_0$ . Космические условия будем моделировать присутствием слабого поля с малым постоянным значением микроускорения  $\mu g_0$ . Воздействием на жидкость внешних вибраций и кориолисовой силы пренебрежем. Таким образом, далее учитывается только действие массовой силы, ускорение которой  $g$  постоянно. Малые значения параметра  $g$  отвечают модели микрогравитации.

Для описания конвективных процессов в жидкости, переноса тепла, массы примеси широко используются уравнения Обербека—Буссинеска [9]. Традиционный анализ размерностей требует масштабировать все ве-

личины, выбрав для расстояния и скорости характерные в данной задаче значения. В качестве характерного линейного размера используем  $R$ . Скорость же  $U$  в рассматриваемом круге задач характерного значения не имеет, поэтому вместо числа Рейнольдса  $Re = UR/\nu$  для скорости используем другой масштаб  $U = \nu/R$  (это равносильно условию  $Re = 1$ ). В новых, безразмерных переменных процессы в жидкости определяются числами Грасгофа  $Gr = g\beta R^3\Delta T/\nu^2$ , Марангони  $Mn = \sigma_0\kappa_\sigma R\Delta T/\rho_0\nu^2$ , Прандтля  $Pr = \nu/\kappa_\tau$ , Шмидта  $Sc = \nu/\kappa_c$ , Фруда  $Fr = \nu^2/gR^3$  и  $\chi = h/R$ . Здесь  $\beta$  — коэффициент объемного расширения в линейной зависимости плотности от температуры.

Сравнительный анализ величин безразмерных параметров, отвечающих данной жидкости, геометрии и условиям нагрева, для земных и космических условий дает довольно бедный прогноз на характер изменений в процессах теплопереноса. С уменьшением величины  $g$  коэффициент у температурного слагаемого в уравнениях движения, пропорциональный числу Грасгофа, уменьшается, вместе с ними становится малым и вклад естественной конвекции. Поскольку задача нелинейная, то о влиянии конвекции Марангони, капиллярных сил и роли микрогравитации в этих явлениях трудно сказать что-либо определенное. Дальнейшее изменение в характере процессов тепло-массопереноса при уменьшении  $g$  невозможно проследить без решения уравнений. Именно по пути параметрических расчетов идет большинство исследователей [3]. В связи с большим количеством безразмерных комплексов построение общей карты режимов нереально даже для простейших процессов. Поэтому актуальным остается вопрос об исследовании характера течений и тепло-массопереноса в зависимости от величины параметра микрогравитации.

Как упоминалось, многочисленные эксперименты в косми-

ческих условиях выявили определяющий вклад капиллярных сил и отчетливую составляющую параметра микрогравитации. Поэтому имеет смысл провести анализ размерностей заново, определив характерные масштабы длины и скорости так, чтобы в них вошли эти величины. Возьмем в качестве характерного масштаба длины капиллярную постоянную Лапласа, масштаба скорости — величину  $U$ , зависящую от  $g$  [10]:

$$L = (\sigma_0/g\rho_0)^{1/2} = \delta_\sigma, U = (\sigma g/\rho_0)^{1/4}.$$

Тогда уравнения Обербека—Буссинеска и условия на свободной поверхности в приведенных к этим масштабам переменных примут вид следующих соотношений для безразмерных динамических величин:

$$\begin{aligned} \partial \mathbf{V} / \partial t + (\mathbf{V} \nabla) \mathbf{V} &= \\ &= -\nabla P - (1 - GrT) \mathbf{n}_z + Re_g^{-1} \nabla^2 \mathbf{V}, \\ \text{div} \mathbf{V} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\partial T / \partial t + (\mathbf{V} \nabla) T = (1/Re_g Pr) \nabla^2 T, \quad (2)$$

$$\partial C / \partial t + (\mathbf{V} \nabla) C = (1/Re_g Sc) \nabla^2 C, \quad (3)$$

$$P - (2/Re_g) \mathbf{n} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{n} = H + P_s, \quad (4)$$

$$2\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{n} = -Re_g Mn \nabla_\tau T. \quad (5)$$

Здесь:  $t$  — время,  $\mathbf{V}$  — скорость жидкости,  $P$  — давление;  $C$  — концентрация примесной компоненты,  $\mathbf{n}_z$  — единичный вектор, указывающий действие силы тяжести;  $\boldsymbol{\tau}$ ,  $\mathbf{n}$  — касательный и нормальный векторы на свободной поверхности;  $\mathbf{D}$  — тензор скоростей деформаций;  $H$  — кривизна поверхности;  $P_s = \text{const}$  — давление на свободной поверхности;  $\nabla_\tau$  — градиент вдоль свободной поверхности. Введены также три безразмерных параметра:

$$\begin{aligned} Re_g &= (\sigma_0/\rho_0^3 g \nu^4)^{1/4} = M^{-1/4}, \\ Gr &= \beta \Delta T, Mn = \kappa_\sigma \Delta T. \end{aligned} \quad (6)$$

$M$  — параметр, зависящий от физических констант жидкости и величины  $g$ , который впервые

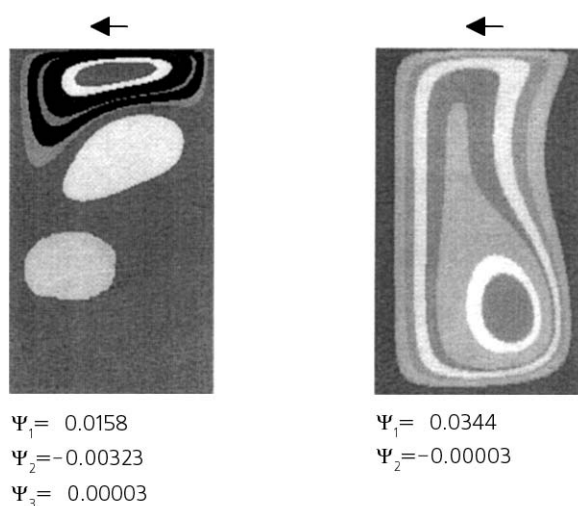


Рис.2. Конвекция в жидкости со свободной поверхностью (результаты расчета). Слева — многовихревая структура течения в земных условиях, справа — одновихревая в космических. Все прочие условия одинаковые. Нижняя поверхность изотермичная, верхняя — нагретая по сравнению с нижней, причем неоднородно: температура на краю на  $1^\circ\text{C}$  выше, чем на оси. Стрелка указывает направление конвекции на свободной поверхности. Под рисунками приведены наибольшие и наименьшие локальные значения функции тока в вихревых областях. По вертикали отложена высотная, по горизонтали — радиальная координаты точек жидкости в цилиндрическом сосуде.

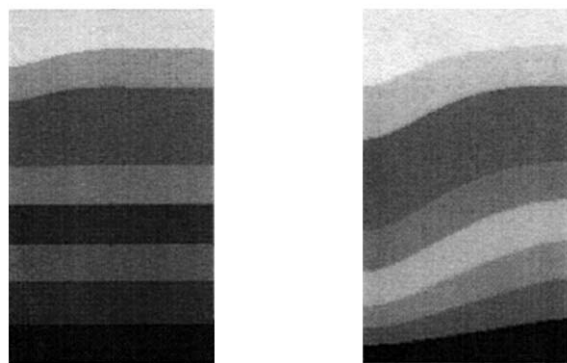


Рис.3. Изотермы течений, структура которых приведена на рис.2.

использовал П.Л.Капица при изучении стекающих пленок жидкости [11].

## Течение жидкости на Земле и в космических аппаратах

При данном способе перехода к безразмерным переменным величина  $g$  входит только в параметр  $Re_g$ , который, как и число Рейнольдса, стоит в уравнениях движения множителем при старших производных. Теперь появилась возможность сказать что-то более определенное об отличиях в конвективных процессах при переходе от условий земных к космическим. С уменьшением величины  $g$  параметр  $Re_g$  увеличивается, и, следовательно, усиливаются инерционные свойства жидкости и влияние капиллярных сил. Возрастают вклады конвективных составляющих при тепло- и массопереносе и влияние конвекции Марангони. Эти выводы, полученные уже на основе теории подобия, по сути констатируют перечисленные выше экспериментальные факты.

Поскольку изменение  $g$  сказывается только на величине  $Re_g$ , а все остальные параметры в (1) — (5) остаются прежними, процессы в жидкости, имеющей свободную поверхность, в земных и космических условиях будут протекать по-разному. Очевидно, подобия невозможно добиться ни выбором соответствующих масштабов областей, ни подбором перепадов температур. Таким образом, присутствие свободной поверхности заведомо приведет к иным результатам, нежели в земных экспериментах. Иллюстрацией этого вывода могут служить расчеты на пакете COMGA [12], проведенные для разных значений  $g$  при прочих одинаковых параметрах и моделирующие течение в расплаве полупроводника при нагреве сверху [8]. Снижение уровня естественной кон-



векции в земных условиях, с целью смоделировать конвекцию космическую, обеспечивалось выбором малого перепада температуры на свободной поверхности. В расчетах он был принят равным  $1^\circ\text{C}$  ( $\Delta T_s = 150^\circ\text{C}$ ,  $R = 11$  мм,  $b = 18$  мм). В этих условиях конвекция Марангони и естественная конвекция формируют в расплаве многовихревую структуру течения с понижающейся интенсивностью по мере приближения к нижней изотермичной поверхности. В космических условиях ( $g = 10^{-4}g_0$ ) образуется одновихревая структура. Причем наибольшей интенсивности течение достигает вблизи нижней поверхности, как это видно на рис.2. Правда, при малых высотах столба расплава в обоих случаях течение становится одновихревым [8]. Однако в космосе интенсивность движения в вихре примерно в 2.5 раза выше, чем на Земле, хотя, казалось бы, сильная естественная конвекция в земных условиях должна складываться с конвекцией Марангони!

Распределение температуры, несмотря на малость числа Прандтля для расплава полупроводника, также оказалось различным. На рис.3 изображены изотермы для земных и космических условий. На Земле преобладает слоистый характер; нарушение линейности по вертикали происходит только в области верхнего, самого интенсивного вихря. В космических условиях конвективный характер прослеживается по всей области течения.

Преобладающий конвективный вклад в перенос примеси ( $Sc > 6$ ) отражается на распределении ее в жидкости наиболее отчетливо, что наглядно демонстрирует рис.4.

В общем случае для иллюстрации качественных и количественных различий в гидродинамике при изменении параметра микрогравитации следует использовать наиболее простой, полностью описываемый

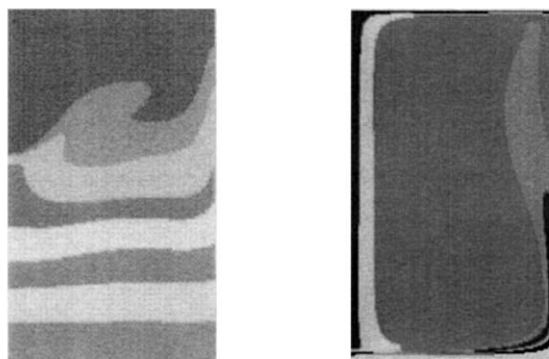


Рис.4. Изолинии концентрации примеси, соответствующие течениям, показанным на рис.2.

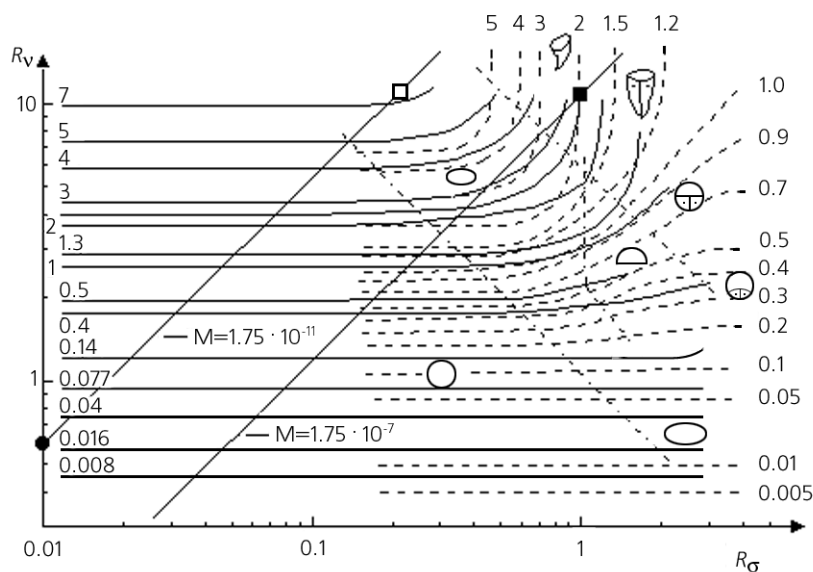


Рис.5. Карта режимов течений для пузырей, всплывающих в разных жидкостях. На осях — приведенные линейные размеры пузыря  $R_\sigma$  и  $R_v$ . Сплошные кривые — линии постоянного значения числа Фруда, рассчитанные на основе полных уравнений Навье—Стокса; штриховые — построенные по результатам экспериментов на разных жидкостях. Данные для конкретной жидкости ( $M = \text{const}$ ) отображаются на прямых линиях. ■ — данные для жидкости в земных условиях ( $V \approx 22$  см/с); ● — данные для пузыря того же объема ( $a = 0.25$  см,  $V \approx 0.02$  см/с) в той же жидкости в условиях микрогравитации; □ — данные для пузыря в условиях микрогравитации, для которого сила Архимеда та же, что и на Земле ( $a \approx 5.3$  см,  $V \approx 2.2$  см/с).

процесс. Например, всплытие одиночного пузыря в жидкости в изотермических условиях. Так, на плоскости приведенных радиусов пузыря  $R_0 = a/\delta_0$  и  $R_v = a/\delta_v$ , где  $a$  — радиус эквивалентной по объему сферы,  $\delta_v = (v^2/g)^{1/3}$ , можно построить карту режимов течений, полностью описывающую всплытие пузыря в разных жидкостях, и проследить особенности, вызванные изменением  $g$ . На рис. 5 такая карта представлена; использовались численные решения полных уравнений Навье—Стокса (с определением формы пузыря) и экспериментальные данные разных авторов [13]. Числа  $M$  для данной жидкости в земных и космических условиях различны. Это означает, что пузыри разных размеров будут всплывать в тех и других условиях по-разному, даже когда одинакова действующая на них сила Архимеда ( $R_v = \text{const}$ ). Чем меньше  $g$ , тем выше проходит прямая, на которой изображаются соответствующие значения для одной и той же жидкости, т.е. тем больше отличается характер всплытия пузыря одного и того же размера. Разли-

чия стираются только при стоксовом обтекании жидкости недеформируемых сферических пузырей при условии, что сила Архимеда у них в земных и космических условиях одинакова.

Такие же выводы справедливы и для всплывающих капель, в том числе и для таких, у которых внутри очень вязкая жидкость, так что ее можно считать твердой частицей [13]. Таким образом, вокруг твердой частицы заданного размера, движущейся в жидкости под действием постоянной силы, течение в земных и космических условиях будет различным.

### Как обеспечить подобие процессов

Мы уже отмечали, что достигнуть подобия явлений в данной жидкости со свободной поверхностью при различных  $g$  невозможно. Этот вывод согласуется с теорией подобия: процессы подобны тогда и только тогда, когда равны все безразмерные комплексы, задающие процесс. А потому необходимое и достаточное условие

для реализации подобия — равенство чисел  $M$ . В работе [14] представлены классы подобных процессов в разных жидкостях при наличии свободной поверхности.

При закрытой поверхности краевые условия (1.4) — (1.5) заменяются условиями прилипания на твердой стенке. Коэффициент поверхностного натяжения перестает быть входным параметром, и величину  $Re_g$  можно задать по усмотрению. Положим  $Re_g = 1$  и используем это уравнение для исключения коэффициента поверхностного натяжения. (Эта процедура эквивалентна выбору характерных величин для размера  $L = (v^2/g)^{1/3}$  и скорости  $U = (gv)^{1/3}$ , не зависящих от параметра  $\sigma$  [10].)

*Неизотермические течения.* В этих случаях решение определяется числами Прандтля, Шмидта и Грасгофа. Для данной жидкости процессы в земных и космических условиях описываются уравнениями с одинаковыми безразмерными комплексами, поэтому подобие процессов достигается при геометрическом подобии. Если  $l_1$  и  $l_2$  — масштабы областей в земных

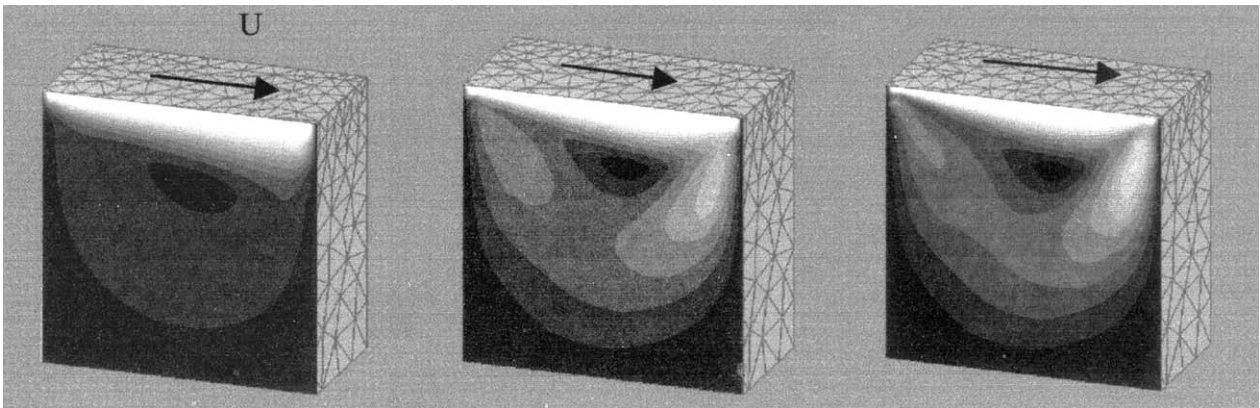


Рис. 6. Течение жидкости в кубической полости под действием движущейся верхней крышки (показано среднее сечение). Число Рейнольдса одинаково  $Re = 100$ , число Фруда  $Fr = U^2/ga$  зависит от величины  $g$  и различно ( $U$  — приведенная скорость движения крышки,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $a$  — сторона куба). Градации серого показывают значения модуля скорости потока. Как видно, течения в земных условиях (правый рисунок) и космических (левый) неодинаковы. В космосе поток локализуется вблизи движущейся крышки, что характерно для идеальной жидкости. Таким образом, влияние невесомости сводится к усилению инерционных свойств жидкости.

и космических условиях, то для подобных процессов должно быть выполнено

$$l_1/l_2 = (g_2/g_1)^{1/3}. \quad (7)$$

Как видно, в заданной геометрии подобие процессов невозможно, если при прочих равных условиях один из них проводится на Земле, другой — в космосе. Подобия невозможно достичь и уменьшением перепада температуры в земных условиях. Только при соответствующем выборе масштабов областей неизотермические процессы станут идентичными.

В [10] приведены примеры течений, подтверждающие эти теоретические выводы. При указанном выборе масштабов областей в рассчитанных течениях все безразмерные комплексы, характеризующие гидродинамические процессы в жидкости, оказались равными.

*Изотермические процессы.* Теперь нетрудно установить влияние микрогравитации на гидродинамику изотермических процессов. В этом случае уравнения Обербека—Буссинеска совпадают с уравнениями Навье—Стокса. А потому в замкнутой области подобие процессов определяется условием геометрического подобия (7). Из этого непосредственно следует, что нестационарные процессы в жидкости на Земле и в космосе в данной геометрии при прочих равных параметрах не будут идентичными.

Если часть границы движется с заданной скоростью, то необходимо выполнить условие динамического подобия:

$$u_1/u_2 = (g_1/g_2)^{1/3}. \quad (8)$$

Здесь  $u_1, u_2$  — скорости на соответствующих участках границ в двух опытах. Моделирование вынужденных течений в камере с движущейся верхней крышкой качественно подтвердило этот вывод [10]. Результаты более точных расчетов [15] течения в кубической полости показаны на рис.6. При очевидно

равных значениях числа Рейнольдса числа Фруда различаются на несколько порядков величины, отсюда и несовпадение течений одной и той же жидкости на Земле (правый рисунок) и в космосе (левый).

Кстати, условие (8) объясняет и сказанное выше об отсутствии подобия течений в одной и той же жидкости в земных и космических условиях, когда течение инициируется движущейся с постоянной скоростью твердой частицей.

*Влияние магнитного поля.* Течение электропроводящей жидкости в магнитном поле описывается совместной системой уравнений гидродинамики и Максвелла. Рассматривая изотермические процессы в вязкой несжимаемой жидкости, будем исходить из уравнения Навье—Стокса. В упрощенной постановке в правой его части следует добавить слагаемое, которое описывает воздействие магнитного поля на жидкость. Этот член содержит один безразмерный параметр [16], который при традиционном способе обезразмеривания называется числом Гартмана:  $Na = BL(\sigma_0/\rho\nu)^{1/2}$ , где  $B$  — индукция магнитного поля,  $\sigma_0$  — коэффициент электропроводности,  $L$  — линейный масштаб. Если же выбрать в качестве характерных размера и скорости величины, которые мы ввели в начале этого раздела, то безразмерный параметр станет иным:  $Na = (B/U)(\nu\sigma_0/\rho)^{1/2}$ . Отсюда следует, что процессы в данной жидкости будут подобны, если  $B_1 = B_2(g_1/g_2)^{1/3}$ . В условиях микрогравитации эквивалентное магнитное поле в опыте должно быть существенно меньшей величины, чем в земном эксперименте.

### Неполную невесомость нельзя отбрасывать

Введение параметра микрогравитации в характерные масштабы длины и скорости обес-

печивает полный набор безразмерных комплексов, с помощью которых прогноз конвекции при разных  $g$  становится возможным до решения всей системы уравнений. Полученные соотношения выявляют степень воздействия величины  $g$  и позволяют проследить изменения характера конвекции при уменьшении параметра микрогравитации, т.е. при переходе к полной невесомости.

Количественно различия в каждом отдельном случае должны устанавливаться индивидуально — в зависимости от рассматриваемых причин движения. Наименьшие отклонения при изменении  $g$  будут у ползущих течений, когда нелинейный конвективный член в уравнениях переноса практически несуществен. Наоборот, в течениях, где роль конвективного члена определяющая, различия заранее непредсказуемы. Совместное действие двух независимых источников движения в жидкости — конвекции Марангони (негравитационный тип движения) и естественной конвекции (гравитационный тип) — дает наглядный пример проявления качественных различий как в характере течения, так и переноса тепла, которые с уменьшением  $g$  только увеличиваются. Этот вывод особенно наглядно прослеживается на диаграмме всплытия одиночных пузырей. Таким образом, чем ближе микрогравитационная обстановка к полной невесомости, тем существеннее различия в гидромеханике в космосе и на Земле и специфичнее разного рода возмущения. Эти результаты служат предупреждением попыткам формального подхода при изучении влияния микрогравитации на жидкие среды.

В качестве характерной величины параметра микрогравитации может быть принята величина квазистатической компоненты. Эта характеристика имеет постоянный знак в конкретных частях корабля при



ориентировании его, скажем, на Землю. Влияние вибраций от работы бортовых систем должно быть учтено как внешние воздействия на границы области, занятой жидкостью.

Указанные выше правила подобия позволяют для каждой среды выбрать (единственным образом) параметры другой среды так, чтобы все безразмерные комплексы оказывались равными. Традиционное моделирование по числу Грасгофа (или Рэлея) допускает изменять ускорение  $g$ , компенсируя соответствующее влияние выбором перепада температуры либо масштаба области. Однако в этих случаях не все параметры оказываются одинаковыми [10].

Сформулированный подход позволяет определять характер изменений в условиях микрогравитации при внешних воздействиях на жидкость. Так, если стенка, ограничивающая жидкость, движется по гармонич-

ческому закону с амплитудой  $b$ , то движения в опытах на Земле и в космосе будут подобны, когда [17]  $b_1/b_2 = (g_1/g_2)^{1/3}$ . Отсюда непосредственно заключаем: чувствительность жидкостей к вибрациям в космических условиях выше; низкочастотные возмущения малой амплитуды могут стать конкурирующими с квазистатической компонентой по степени воздействия на жидкость.

Кориолисова сила на характер течений влияет слабо. Однако по сравнению с земными условиями ее воздействие на борту корабля значительно усиливается. В этом нетрудно убедиться, переписав число Экмана так, чтобы в него вошли масштабы длины и скорости, зависящие от  $g$ .

Теоретические оценки, касающиеся конвекции в жидкости со свободной поверхностью, для условий космического полета полностью согласуются

с расчетами течений, в которых распределенная по объему массовая сила возникает как результат действия давления на границах жидкости. Течения в замкнутых областях, возникающие под действием внешней силы и сопровождаемые перемещением центра тяжести жидкости, заведомо будут различаться в полях тяготения разной интенсивности. Поэтому в тех задачах, постановка которых требует задания расходных характеристик, для получения адекватного прогноза течений в условиях микрогравитации необходимо подвергнуть существующие методики расчетов соответствующей коррекции. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Калужской области. Проекты 98-01-03552 и 00-01-96004.**

## Литература

1. Сазонов В.В., Комаров М.М., Беляев М.Ю. и др. // Космич. исслед. 1996. Т.34. №5. С.491—499.
2. Технологические эксперименты в невесомости / Под ред. акад. В.С.Авдуевского. Свердловск, 1983.
3. Полежаев В.И., Бунэ А.В., Верезуб Н.А. и др. Математическое моделирование конвективного теплообмена на основе уравнений Навье—Стокса. М., 1987.
4. Авдуевский В.С., Бармин И.В., Гришин С.Д. и др. Проблемы космического производства. М., 1980.
5. Barmin I.V., Zemskov V.S., Raukman M.R. et al. Growing doped indium antimonide crystals during Salyut-Soyuz mission. Tokyo, 1980. P.8. Preprint IAF-80.
6. Zemskov V.S., Raukman M.R., Sbalimov V.P. et al. Gravity sensitivity of the facet effect during InSb:Te single crystals growth by FZM in space flight // Proceedings of Joint X-th European and Russian Symposium «Physical Sciences in Microgravity». St.Petersburg, 15—21 June 1997. V.2. P.95—104.
7. Wiedemier H., Klaessig F., Irene E., Wey S. // J. Crystal Growth. 1975. V.31. №1. P.36—43; Wiedemier H., Sadeck H., Klaessig F. et al. // J. Electrochem. Soc. 1977. V.124. №7. P.1095—1102.
8. Volkov P.K., Zakharov B.G., Serebryakov Yu.A. // J. Crystal Growth. 1999. V.204. P.475—486.
9. Джозеф Д. Устойчивость движений жидкости. М. 1981.
10. Volkov P.K. // Russ. J. Eng. Thermophys. 1998. V.8. №1—4. P.121—135.
11. Капица П.Л. // ЖЭТФ. 1948. Т.18(1). №3. С.3—18.
12. Ермаков Н.К., Никитин С.А., Полежаев В.И. // Изв. РАН. МЖГ. 1997. №3. С.21—38.
13. Волков П.К. // Инж.-физ. журн. 1994. Т.66. №1. С.93—123.
14. Волков П.К. // Успехи физ. наук. 1998. Т.168. №12. С.1323—1329.
15. Волков П.К., Переверзев А.В. Качественные различия в динамике изотермических жидкостей в земных и космических условиях / Труды регион. конкурса научн. проектов в обл. естеств. наук. Калуга, 2001. Вып.2. С.52—70.
16. Горбачев Л.П., Никитин Н.В., Устинов А.Л. // Магнит. гидромеханика. 1974. №4. С.32—42.
17. Волков П.К., Захаров Б.Г., Осипьян Ю.А. // ДАН. 1999. Т.367. №1. С.35—39.

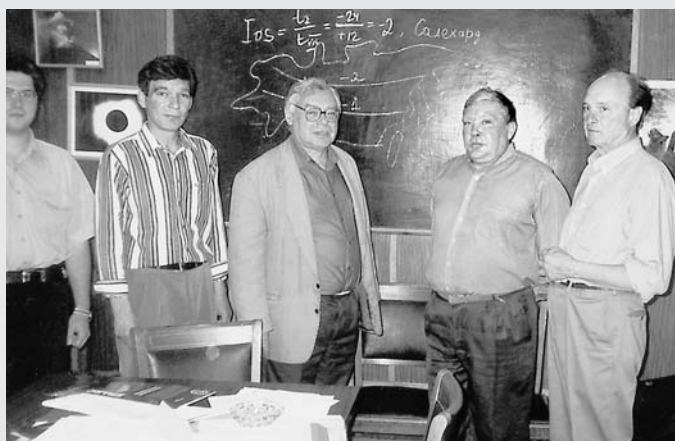
# Судьба вечной мерзлоты: взгляд из прошлого в будущее

П.Ф.Демченко, А.А.Величко, Г.С.Голицын, А.В.Елисеев, В.П.Нечаев

**И**зменения климата, связанные с антропогенным ростом концентрации парниковых газов в атмосфере, в первую очередь сказываются на наиболее уязвимых компонентах природной среды, чувствительных к переменам термического режима. К ним относятся и вечная мерзлота — многолетнемерзлые породы, подстилающие приблизительно две трети территории России. Изменение состояния грунтов при возможной деградации вечной мерзлоты отражается на инженерно-технических сооружениях (зданиях, магистральных нефте- и газопроводах, транспортной инфраструктуре, системах жизнеобеспечения) и в целом на окружающей среде.

На протяжении истории Земли эволюция вечной мерзлоты была тесно связана с глобальными потеплениями и похолоданиями климата. В ближайшую теплую эпоху прошлого, приблизительно 6 тыс. лет назад, площадь распространения сплошной вечной мерзлоты в Северной Евразии, по данным палеоклиматических реконструкций, уменьшалась по сравнению с современной приблизительно на четверть [1]. Еще большим было ее сокращение около 125—130 тыс. лет назад — в то время площадь сплошной вечной мерзлоты составляла менее одной пятой от нынешней.

© П.Ф.Демченко, А.А.Величко,  
Г.С.Голицын, А.В.Елисеев, В.П.Нечаев



**Павел Феликсович Демченко** (второй слева), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории теории климата Института физики атмосферы им.А.М.Обухова РАН. Занимается методами статистической физики применительно к теории климата.

**Андрей Алексеевич Величко** (крайний справа), доктор географических наук, профессор, заведующий лабораторией эволюционной географии Института географии РАН. Специалист в области палеогеографии и палеоклиматологии.

**Георгий Сергеевич Голицын** (в центре), академик, директор Института физики атмосферы им.А.М.Обухова РАН. Специалист в области геофизической гидродинамики и теории климата.

**Алексей Викторович Елисеев** (крайний слева), кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории теории климата того же института. Занимается методами анализа нелинейных процессов в области теории климата.

**Владимир Павлович Нечаев** (второй справа), кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории эволюционной географии Института географии РАН. Занимается палеогеографией и палеокриологией.

ней. При этом среднеглобальная температура воздуха в приповерхностном слое воздуха была приблизительно на два градуса выше. Примерно таким должно быть потепление на нашей планете к середине XXI в., если выбросы в атмосферу парниковых газов будут поступать нынешними темпами [2]. Этот сценарий, условно названный *business as usual*, предполагает рост содержания углекислого газа, метана, закиси азота и хлорфторуглеродов, эквивалентный увеличению концентрации углекислого газа на 1% в год. При учете антропогенных выбросов сульфатных аэрозолей, которые увеличивают отражение солнечной радиации в космос и эффективно охлаждают поверхность, к середине XXI в. глобальная температура повысится на один градус.

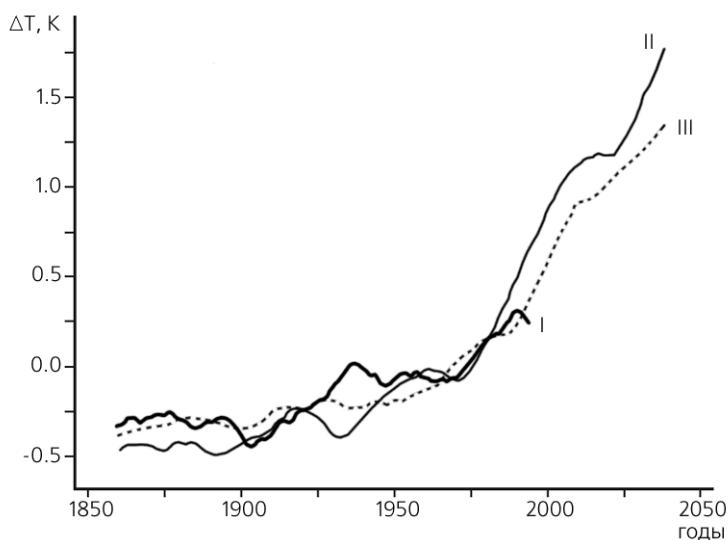
Метод палеоаналогов был первым способом построения пространственных сценариев будущих состояний климата, геосистем и их компонентов в различных регионах [3]. При этом палеоклиматические реконструкции строятся для тех

интервалов геологического прошлого, во время которых уровни повышения среднеглобальной температуры по отношению к нынешним соответствовали ожидаемым в близком будущем. Эти построения — важный источник информации о многолетнемерзлых породах в эпохи длительных потеплений, когда приповерхностные горизонты приходили в устойчивое, равновесное с климатическими условиями, состояние. Однако темпы наблюдаемых за последние 30 лет и прогнозируемых в XXI в. изменений климата не имеют аналогов в прошлом. При таком быстром антропогенном воздействии отдельные звенья климатической системы не успевают подстроиться к внешним условиям. Можно ли применять метод палеоаналогов при моделировании быстро изменяющегося климата и дополняет ли он оценки будущих изменений компонент земной климатической системы (в том числе — криосферы) — на эти вопросы мы попытались ответить в нашей работе.

## Моделирование изменений глобального климата

Сложность изучения глобального климата связана с тем, что постановка физических экспериментов с контролем влияющих на него факторов невозможна. Такие работы можно проводить только с виртуальным (модельным) климатом, который отображает взаимодействие атмосферы, океана, криосферы, биосферы и поверхности суши на пространстве переменных физико-математических моделей. Наиболее подробные из них, называемые моделями глобального климата (общей циркуляции) — сложные динамические системы с большим числом степеней свободы и максимально подробным на настоящий момент описанием основных локальных климатообразующих процессов. В мире насчитывается несколько десятков таких моделей, которые в рамках множества международных программ непрерывно сравниваются между собой и с данными наблюдений. Поскольку они успешно воспроизводят эволюцию климата XX в., их считают «разведчиками будущего», и в этом качестве этим моделям альтернативы пока нет.

Первые попытки представить изменения климата под действием антропогенных выбросов парниковых газов на моделях общей циркуляции были предприняты в середине 70-х годов прошлого века. Одним из слабых мест этих работ было описание океана — самого инерционного из звеньев земной климатической системы. Удвоение эквивалентной концентрации углекислого газа в атмосфере при развитии сценария *business as usual* ожидается уже в 70-х годах XXI в. За такой короткий период океан не успеет полностью приспособиться к изменению внешних условий. Поэтому в последнее время в мире стартовало новое поколение моделей общей цир-



*Изменения средней глобальной температуры по данным наблюдений (I) и по модели общей циркуляции атмосферы и океана Института метеорологии Макса Планка: при росте концентрации парниковых газов по сценарию *business as usual* без учета эмиссии сульфатных аэрозолей (II) и с учетом этой эмиссии (III).*



куляции атмосферы и океана, более подробно учитывающее океанические процессы [4].

Эксперименты с моделями такого типа требуют значительных затрат вычислительных ресурсов, в особенности при расчетах эволюции климата до нескольких сотен лет, и могут проводиться только на самых современных ЭВМ. Поэтому разрабатываются и модели климата промежуточной сложности [5], требующие в сотни раз меньше машинного времени и памяти: в них многие явления, такие как конденсация водяного пара или динамика отдельных циклонов и антициклонов, описываются через характеристики крупномасштабных полей. Эти модели климата также сравниваются с данными наблюдений и результатами более подробных моделей общей циркуляции.

При воспроизведении эволюции климата последних десятилетий на современных моделях было замечено, что данные наблюдений согласуются с ними лучше, если помимо парниковых газов учитывать и эффект антропогенных выбросов сульфатных аэрозолей. Сосредоточенные в основном в нижних слоях атмосферы, они приводят к выхолаживанию этих слоев вследствие эффективного отражения

солнечного излучения. При прогнозировании климата охлаждающее действие аэрозолей становится еще заметнее. Расчеты изменений средней глобальной температуры приземного воздуха до конца XXI в. на одной из самых современных моделей общей циркуляции атмосферы и океана [4] показали, что антропогенная эмиссия парниковых газов приведет к увеличению средней глобальной температуры на 1.8°C к середине века по сравнению с периодом 1960—1990 гг., что близко к оценке ее повышения 125—130 тыс. лет назад, в период Микулинского межледниковья (по данным палеорекострукции). Учет аэрозольной эмиссии снижает эту величину до 1.3°C, что ближе к условиям, существовавшим 10 тыс. лет назад — в оптимум голоцена. Каковы же современные представления о многолетнемерзлых грунтах в эти эпохи?

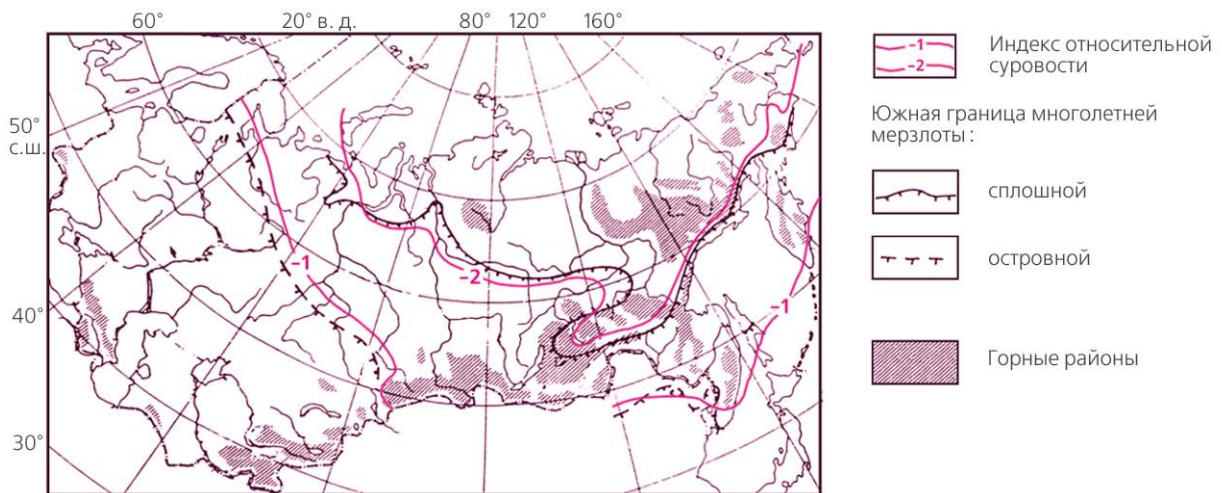
### Распространение мерзлоты в теплые эпохи

В истории становления области многолетней мерзлоты можно выделить несколько весьма неравноценных по времени этапов. Сезонная, а затем

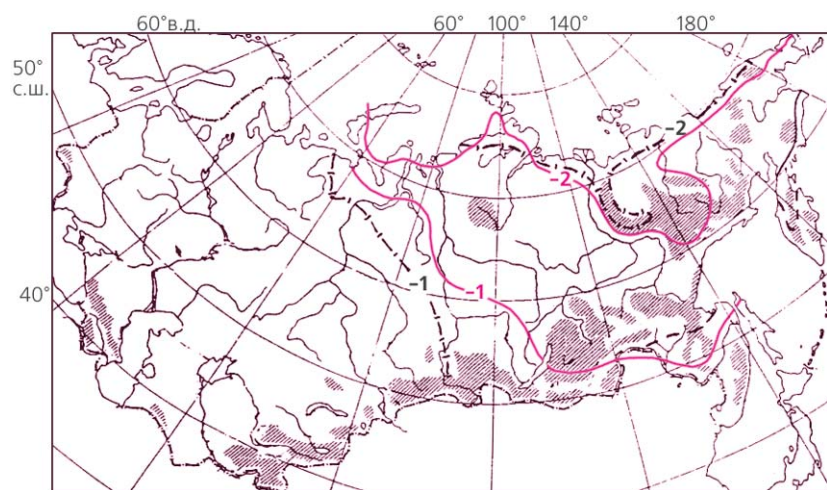
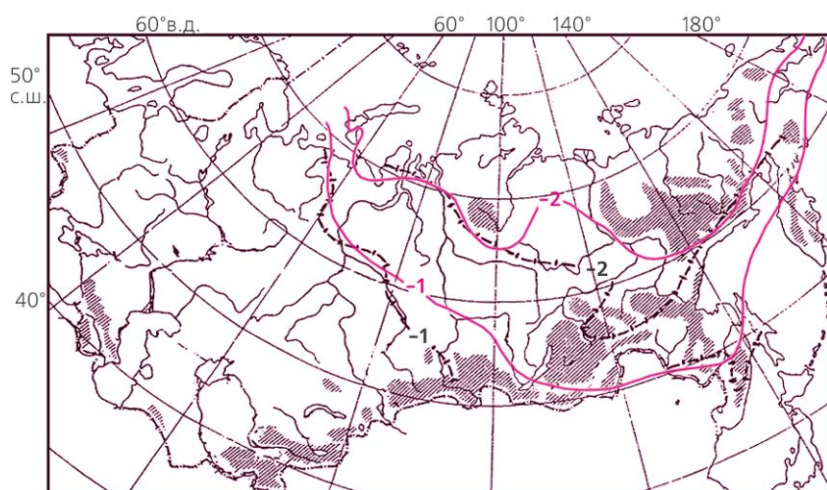
и многолетняя криолитозона возникла в результате похолодания 10—1.8 млн лет назад. Второй период (1.8—0.13 млн лет назад) характеризовался разрастанием многолетней мерзлоты в холодные эпохи и почти полным ее исчезновением в теплые межледниковые. Третий этап включает в себя последний климатический макроцикл межледниковье—оледенение и соответствует позднему плейстоцену (130—10.3 тыс. лет назад). Здесь параметры криолитозоны изменялись особенно резко — от климатического оптимума уже упомянутого Микулинского межледниковья (125 тыс. лет назад) к максимальному последнему похолоданию (20—15 тыс. лет назад).

Во время еще не завершеного четвертого этапа последнего межледниковья особое место занимает оптимум голоцена (около 6 тыс. лет назад) Именно его считают палеоаналогом ближайших ожидаемых изменений климата в результате антропогенного увеличения содержания парниковых газов в атмосфере.

В это время глобальная температура выше современной на 0.8—1.0°C. Область многолетней мерзлоты значительно сократилась. Так, в европейской части



Индекс относительной суровости и границы современной криолитозоны.



Индекс относительной суровости по расчетам климатической модели на 2040—2050 гг. и данным палеорекоkonструкций. Вверху — полученный в эксперименте с учетом выбросов аэрозоля (цветная линия) и для климатического оптимума голоцена (6 тыс. лет назад); внизу — без учета выбросов аэрозоля (цветная линия) и для климатического оптимума Микулинского межледниковья (125 тыс. лет назад).

России, к западу от низовьев Печоры, с поверхности она полностью протаяла, в западном секторе Западной Сибири южная граница криолитозоны проходила у Полярного круга, но восточнее 80° в.д. опускалась к 64—63° с.ш. На юге Восточной Сибири, на всем левобережье Ангары, ее практически не было, а восточнее Байкала южная граница

мерзлоты не поднималась севернее 52—53° с.ш., на севере Западной Сибири сдвигалась к северу на 300—400 км, на западе Средней Сибири на 150—200 км. Менее значительны были изменения зоны многолетнемерзлых пород в Восточной Сибири и на северо-востоке Азии.

Из-за деградации с поверхности западного сегмента криоли-

тозоны возник слой глубокозалегающих многолетнемерзлых пород, не успевших протаять в климатический оптимум голоцена. Такие породы сохранились и до сих пор на больших глубинах (сотни метров), например, в бассейне Печоры или в средней полосе Западной Сибири.

В оптимум последнего Микулинского межледниковья (палеоаналога глобального потепления на 2°С) произошло еще более радикальное сокращение криолитозоны по сравнению с предшествующим временем. В это время на территории Восточно-Европейской равнины на поверхности она практически растаяла, на севере Западной Сибири южная граница криолитозоны проходила у Полярного круга, в Средней Сибири — вблизи 63° с.ш., и только в Северном Забайкалье она могла опускаться до 55—54° с.ш. Сплошная криолитозона (с температурами мерзлых грунтов не ниже -2—3°С) могла сохраняться только вдоль северной кромки Сибири к востоку от 90—100° в.д. Таким образом, обширные районы Сибири были заняты островками мерзлоты, что должно было вести к активной деградации сплошных многолетнемерзлых толщ, сформировавшихся в конце среднего плейстоцена. Только в Восточной Сибири, к северу от 68—70° с.ш., существовали благоприятные условия для сохранения криолитосферы.

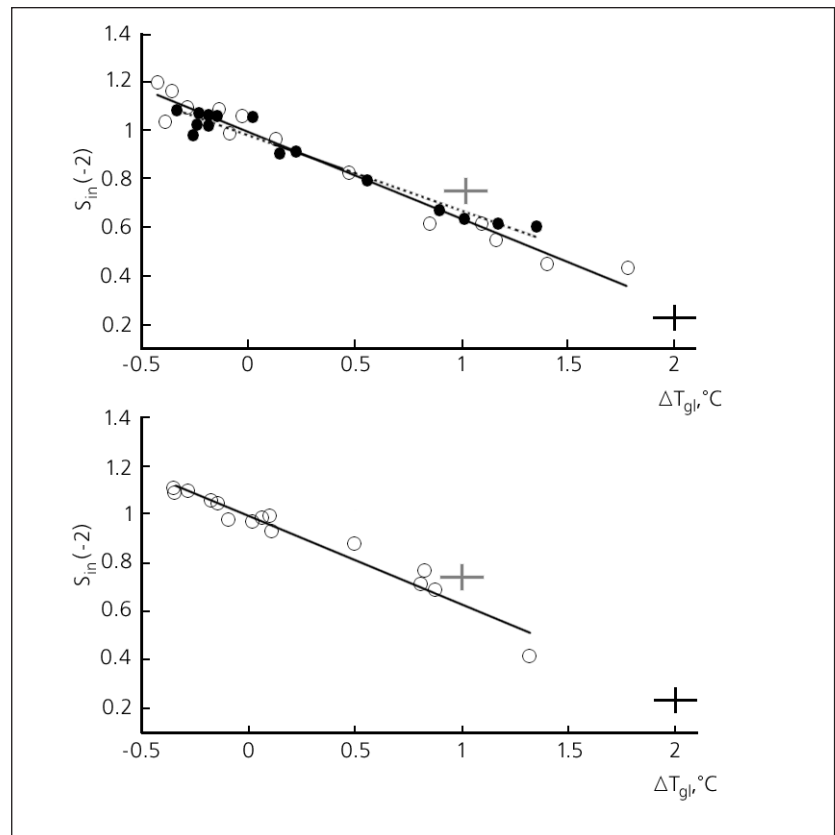
При восстановлении динамики ее различных подзон в течение интересующих нас двух теплых эпох был применен индекс относительной суровости  $I$ , представляющий собой отношение минимальной (как правило, января) и максимальной (как правило, июля) среднемесячной температуры воздуха (в °С). Этот показатель, разработанный на основе эмпирических данных одним из авторов статьи, В.П.Нечаевым, характеризует локальные климатические условия, благоприятные для образования мерзлых грунтов [6]. С его помощью можно воспроизвести со-

временное положение границы вечной мерзлоты: для сплошной многолетней значение индекса оказалось меньше  $-2$ , а для распространения мерзлоты вообще  $-$  меньше  $-1$ .

Тот же индекс мы использовали для сопоставления положения границ зон вечной мерзлоты двух уже упомянутых теплых эпох прошлого с расчетами на модели общей циркуляции атмосферы и океана Института метеорологии Макса Планка (г.Гамбург) в середине XXI в.: с учетом влияния сульфатного аэрозоля и без его учета. Оказалось, что парниковое воздействие при развитии сценария business as usual приближает положение границ мерзлотно-климатических зон к Микулинскому межледниковью, охлаждающее действие аэрозолей — к оптимуму голоцена. Выше уже отмечалось, что это справедливо и для расчетов уровня повышения средней глобальной температуры. Таким образом подтверждается возможность метода палеоклиматических реконструкций, и в частности палеоаналогов.

### Глобальная температурная чувствительность мерзлотно-климатических условий

Метод палеоаналогов развивался для диагностики пространственного распределения климатических аномалий при заданном уровне изменения средней глобальной температуры. Удобство его применения было во многом связано с тем, что такая температура прогнозируется более надежно по сравнению с деталями регионального распределения этой климатической характеристики, разброс в оценках изменения среднеглобальной температуры по отдельным моделям не слишком велик. При этом зачастую привлекаются упрощенные мо-



Зависимость площади вечной мерзлоты, ограниченной индексом суровости  $-2$  и нормированной на современное значение, в Северном полушарии для различных десятилетий от изменения среднегодовой глобальной приповерхностной температуры для модели общей циркуляции (вверху) и климатической модели промежуточной сложности ИФА РАН (внизу). Сплошные кружки — эксперимент с учетом аэрозолей, пустые — без них. Сплошной и пунктирной линиями обозначены соответствующие линейные регрессии. Для сравнения на рисунках нанесены крестики, соответствующие данным палеореконовструкций для оптимума голоцена (серые) и Микулинского межледниковья для Северной Евразии (черные).

дели климата с малым числом хорошо контролируемых параметров. При быстрых изменениях климата, когда его состояние в каждый момент времени далеко от равновесного, достижимого только в отдаленном будущем, возникает вопрос о самом существовании взаимосвязей между средней глобальной температурой и исследуемыми климатическими параметрами.

На модели общей циркуляции атмосферы и океана и модели климата промежуточной

сложности, созданной в Институте физики атмосферы, мы проследили за наиболее простой характеристикой мерзлотных условий — площадью континентальных территорий Северного полушария ( $S_i$ ), со значением индекса суровости меньше  $-2$ , характерным для сплошной мерзлоты, — меняющейся в зависимости от среднеглобальной температуры. Другими словами, была оценена глобальная температурная чувствительность мерзлотно-



климатических условий. Результаты моделирования показали тесную линейную связь исследуемых характеристик. При этом чувствительность мерзлотно-климатических условий (на графике наклон прямых площадь—температура) практически одинакова для сценариев с учетом воздействия сульфатных аэрозолей и без них и лежит в интервале от 0.4 до 0.25 K<sup>-1</sup>.

В среднем увеличению среднеглобальной температуры на один градус соответствует уменьшение площади сплошной вечной мерзлоты на одну треть. По данным палеорекоконструкций для Северной Евразии, при увеличении средней глобальной температуры на 1°C (оптимум голоцена) площадь  $S_i(-2)$  уменьшается на 25% по сравнению с современной, что соответствует чувствительности 0.25 K<sup>-1</sup>; при увеличении на 2°C (Микулинское межледниковье)

уменьшение этой площади достигает 80%, а чувствительность — 0.4 K<sup>-1</sup>. Другими словами, модельные и палеогеографические значения этих характеристик совпадают. Следует, правда, иметь в виду, что модельные эксперименты проводились только с учетом изменения содержания парниковых газов и сульфатного аэрозоля и не учитывали возможное влияние других воздействий на климат.

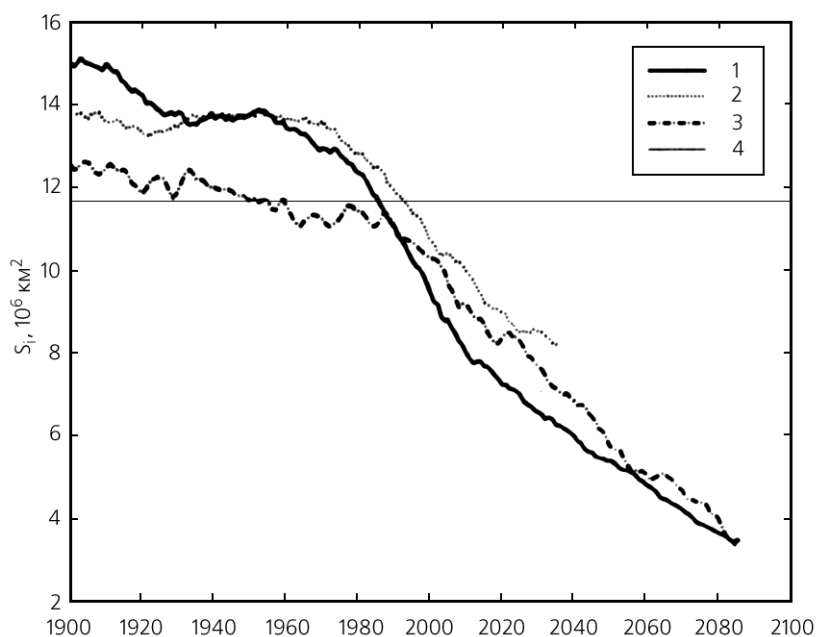
### Насколько мы близки к прошлому?

Как уже отмечалось выше, глобальные потепления прошлого протекали на гораздо более длительных отрезках геологического времени в сравнении с современными быстрыми темпами изменений климатообразующих процессов. Поэтому их следует рассматривать как возможные палеоаналоги предель-

ных квазиравновесных состояний климатической системы, соответствующих текущему расчетному уровню глобального потепления в будущем. С другой стороны, собственная инерционность многолетних мерзлых грунтов, которая может достигать нескольких десятков лет на уровне нулевых годовых колебаний, не позволяет проводить прямые аналогии между текущим уровнем потепления на поверхности и состоянием вечной мерзлоты. Однако при моделировании нестационарного отклика климата на современных моделях общей циркуляции атмосферы и океана связь мерзлотно-климатических условий с уровнем глобального потепления оказывается тесной.

Были проведены расчеты  $S_i(-2)$  (скользящих десятилетних средних значений) по таким моделям для периода 1900—2100 гг. при сценарии выбросов парниковых газов business as usual и с дополнительным учетом охлаждающего действия аэрозоля (до 2050 г.). Условная площадь сплошной вечной мерзлоты для конца XX в. совпадала с результатами наблюдений. Оказались близкими к реальным современным границам соответствующих подзон вечной мерзлоты и основные черты географического распределения изолиний индексов  $I(-1)$  и  $I(-2)$  на территории Северной Евразии для этого периода. С начала XXI в. обе модели показывают начало резкого сокращения  $S_i(-2)$ , так что к середине столетия эта площадь уменьшится примерно на 65% (около 5—7 млн км<sup>2</sup>) без учета аэрозольной эмиссии и несколько менее, приблизительно на 35—40%, с учетом сульфатного аэрозоля [2].

Отметим в заключение, что мы не рассматривали ни мелко-масштабные характеристики ландшафта и растительности, ни свойства грунта, важные для эволюции многолетней мерзлоты, ни вертикальные особенности геокриологических процес-



Изменение площади вечной мерзлоты, ограниченной индексом суровости -2, в Северном полушарии при десятилетнем скользящем усреднении в численных экспериментах: 1 — по модели общей циркуляции без учета аэрозоля, 2 — с учетом аэрозоля, 3 — по модели промежуточной сложности ИФА РАН без учета аэрозоля; 4 — современное значение площади, покрытой сплошной вечной мерзлотой.

сов, в том числе в снежном покрове и в слое сезонного протавивания. А именно они определяют инерционное запаздывание реакции мерзлоты на изменение поверхностных условий. Многие мерзлотоведы связывают современное повышение температур мерзлых грунтов с увеличением толщины снежного покрова. Некоторые черты этих процессов позволяют воспроизвести современные одномерные геокриологические модели, которые непрерывно совершенствуются, и уже в обозримом будущем их можно бу-

дет включать в модели будущих изменений климата в качестве отдельных блоков, приспособленных для описания процессов в холодных грунтах.

Для нас принципиально важно то, что оценки мерзлотно-климатических условий XXI в., полученные по моделям климата нового поколения, согласуются с аналогичными оценками для теплых эпох прошлого, несмотря на то, что палеоаналоги глобального потепления к середине века относятся к квазистационарным условиям. Уровни глобального потепления для

этих эпох — оптимума голоцена и Микулинского межледникового, по данным моделирования, достижимы уже к середине начавшегося столетия. Хотя эти расчеты не учитывают временное запаздывание процессов во всей толще мерзлых грунтов, которое может достигать десятка—сотен лет, модельные оценки изменения мерзлотно-климатических условий в сторону теплых эпох означают, что уже в ближайшие десятилетия можно ожидать интенсификации процессов деградации вечной мерзлоты. ■

## Литература

1. Величко А.А., Нечаев В.П. // ДАН. 1992. №3. С.667—671.
2. Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds J.T.Houghton, L.G.Meira Filho, B.A.Callander et al. Cambridge, 1996.
3. Будыко М.И. Эволюция биосферы. Л., 1984.
4. Roeckner E., Bengtsson L, Feichter J. et al. // J. Climate. 1999. V.12. P.3004—3032.
5. Handorf D., Petoukhov V.K., Dethloff K. et al. // J. Geophys. Res. 1999. V.104. №.22. P.27253—27275.
6. Нечаев В.П. О некоторых соотношениях между мерзлотными и климатическими параметрами и их палеогеографическое значение // Вопр. палеогеогр. плейстоцена ледник. и перигляц. областей / Под ред. А.А.Величко, В.П.Гричука. М., 1981. С.211—220.

### Япония открывает музеи

В течение долгого времени палеонтологические, археологические, ботанические и другие коллекции, хранящиеся в Японии, практически были недоступны ни специалистам, ни широкой публике. Лишь один-два крупных университета страны располагали музеями, да и те страдали от недостатка помещений и сотрудников. Интереснейшие коллекции годами пылились в запасниках и подвалах, не будучи даже каталогизированы, а иногда, за неимением места, просто выбрасывались (Science. 2001. V.292. №5521. P.1477. США). Музей при Токийском университете, например, был скорее примитивным

складом, где не велось никакой научной работы. Однако во время подготовки к его 120-летию юбилею (1998) здесь случайно обнаружили ценнейшую коллекцию японской флоры, собранную в XIX в. знаменитым немецким натуралистом Ф.Ф.фон Зейбольдом. Общее количество «найденных» тогда экспонатов достигло 6 млн.

Сейчас положение меняется к лучшему. За последние четыре года развернули экспозицию семь университетских музеев, планируется открыть еще пять. В июне 2001 г. торжественно открыл свой музей Киотский университет — посетители смогут увидеть здесь одну из лучших в мире палеонтологических коллекций.

Каталогизация образцов уже привела к нескольким открытиям. Так, исследование образцов гагата и нефрита (минералов, еще 5 тыс. лет назад использовавшихся корейскими ювелирами для украшений) показало, что эти полудрагоценные камни имеют японское происхождение и, следовательно, люди пересекали Японское море намного раньше, чем считалось до сих пор.

Однако проблемы остаются. Даже увеличенных государственных ассигнований недостаточно для формирования штатов научных сотрудников. Тем не менее ученые считают, что для научно-музейного дела в Японии открылась новая эпоха.

Япония открывает музеи

# Проблема происхождения хордовых

Заметки и наблюдения

Н.Н.Иорданский,

доктор биологических наук

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

В последние годы китайские палеонтологи находят ископаемые организмы поразительной сохранности — даже с отпечатками структур, образованных мягкими тканями. Обнаружены эти остатки в центральной части провинции Юньнань (Южный Китай) в нижнекембрийских глинистых сланцах свиты Маотяньшань, возраст которых около 530 млн лет. Организм, чьи остатки были найдены в 1995 г. в Шэньяне, получил название по имени провинции — юннаноозон (*Yunnanozoon*) [1]. Одни специалисты рассматривали его как древнейшего представителя бесчерепных хордовых (*Acrania*), другие относили эту форму к полухордовым (*Nemichordata*). А в 1999 г. в Хайкоу, вблизи Куньмина, было раскопано целое кладбище древнейших животных — остатки 305 экземпляров, но другого хордового, названного хайкоуэлла (*Haikouella*). Благодаря прекрасной сохранности палеонтологам удалось с большой полнотой восстановить ее строение [2].

Тело хайкоуэлла было ланцетовидным, длиной 25—40 мм, отчетливо выделялись голова, туловище и хвост. Брюшная часть туловища утолщена,

спинная сжата с боков. Имелись плавники: невысокий спинной и небольшие брюшной и хвостовой. По бокам головы расположена пара округлых структур, которые китайские палеонтологи интерпретировали как глаза. На брюшной стороне головы находилось ротовое отверстие, окруженное небольшими щупальцами и ведущее в объемистую глотку, боковые стенки которой пронизывались жаберными щелями и укреплялись шестью парами жаберных дуг. В глотке имелись конические зубовидные выросты, а по ее дну тянулся желобок — эндостиль, — признак, характерный для всех хордовых. Глотка переходила в узкий пищевод, соединявшийся с извитой средней кишкой, за ней следовала прямая задняя, которая заканчивалась анальным отверстием на брюшной стороне тела, у основания хвоста.

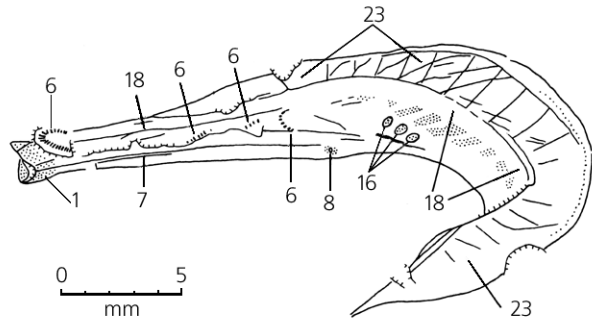
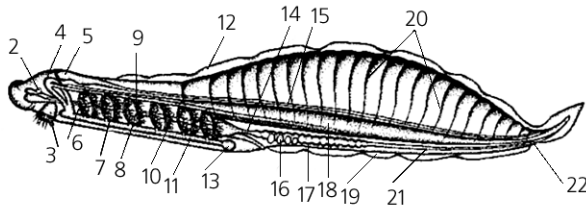
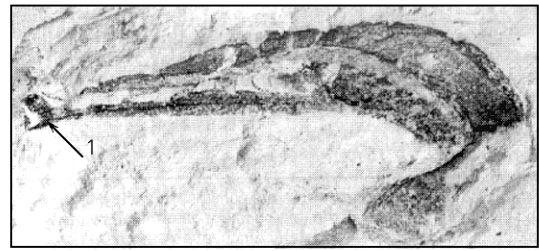
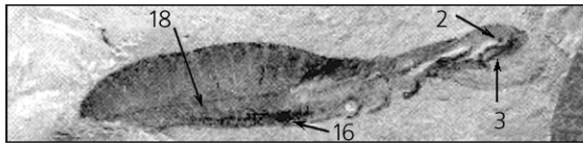
Над кишечником хайкоуэлла лежала хорда (осевой скелет), в туловище утолщенная и смещенная в нижнюю часть тела. Над ней располагался продольный нервный тяж, который в голове образовывал мозг из трех отделов. Под глоткой и над ней также находились тяжи, но китайские палеонтологи интерпретировали их как главные кровеносные сосуды — брюшную и спинную аор-

ты. Их связывали жаберные артерии, а сама брюшная аорта начиналась от похожего на пузырь вздутия, которое могло быть сердцем.

У хайкоуэлла спинную часть туловища над хордой занимали метамерные мышцы, сегменты которых (миомеры) разделялись S-образными перегородками — септами. По бокам средней кишки находились половые железы: четыре пары у хайкоуэлла и 13 пар у юннаноозона.

По всем важнейшим диагностическим признакам — общему плану строения тела, наличию хорды, центральной нервной системы в виде продольной трубки, глотки с жаберными щелями — хайкоуэлла и юннаноозон относятся к хордовым животным. До находок в Китае столь древние представители хордовых не были известны, и проблеме их происхождения многие поколения ученых пытались решить умозрительно. Интересно, что строение хайкоуэлла и юннаноозона оказалось очень близким к типу организации гипотетического общего предка хордовых, который был обоснован в 1925 г. А.Н.Северцовым и назван им примитивным бесчерепным (*Acrania primitiva*). Хайкоуэлла отличается от него такими признаками более высокой организации, как обособленная голова, в которой





Фоссилизированные остатки (верхний ряд) и реконструкции хайкоуэллы (слева) и юннанозоона. Это самые древние хордовые из когда-либо и где-либо найденных. 1 — передний конец тела, 2 — глаз, 3 — ротовая полость, 4 — передний жаберный сосуд, 5 — мозг, 6 — жаберные щели, 7 — эндостиль, 8 — зубовидные структуры, 9 — спинная аорта, 10 — глотка, 11 — брюшная аорта, 12 — спинной плавник, 13 — сердце, 14 — пищевод, 15 — нервный тяж, 16 — половые железы, 17 — желудок, 18 — хорда, 19 — брюшной плавник, 20 — миосепты, 21 — кишка, 22 — анальное отверстие, 23 — миомеры.

отсутствуют мышечные сегменты-миомеры, головной мозг, парные глаза, сердце. Все это сближает хайкоуэллу с предками высших хордовых — позвоночных.

Полученные китайскими палеонтологами данные соответствуют гипотезе о происхождении хордовых от древних «олигомерных червей», близких по уровню организации к современным кишечнодышащим полухордовым (Enteropneusta). Вероятно, на ранних этапах эволюции хордовых у их предков развились новые приспособления (хорда, сегментация туловищных мышц, более со-

вершенные органы чувств и центральная нервная система), которые обеспечили животным переход от придонной жизни и червеобразного способа передвижения к активному плаванию в толще воды. Древнейшие хордовые сохраняли способ питания «олигомерных червей» — фильтрацию взвешенных в воде микроорганизмов и частиц ила с помощью глоточного фильтрационного аппарата. Возможно, уже тогда хордовые разделились на три группы, образовавшие в ходе дальнейшей эволюции три известные ныне подтипа: оболочников, бесчерепных (голово-

хордовых) и позвоночных (черепных). От прикрепленных к морскому дну предков произошли оболочники, группа рожущих морских хордовых дала начало бесчерепным, а те, что продолжали совершенствоваться приспособления к активному плаванию, оказались предками позвоночных. Видимо, хордовые возникли в самом начале кембрийского периода — во время «кембрийской взрывной эволюции», когда в палеонтологической летописи появились представители почти всех известных типов организмов, а может, и еще раньше, в поздневендское время. ■

## Литература

1. Chen J.-Y. et al. // Nature. 1995. V.377. P.720—722.
2. Chen J.-Y. et al. // Nature. 1999. V.402. P.518—521.

# Что общего в иммунитете растений и животных?

Ю.Т.Дьяков, С.Ф.Багирова

На проходившем в 1975 г. в Ленинграде XII Международном ботаническом конгрессе у американских ученых возник вопрос: «почему секция, посвященная устойчивости растений к болезням, названа «Иммунитет»? Разве русские нашли у растений антитела?» Известный японский фитохимик И.Уритани ответил, что название секции отражает традиции в русской фитопатологической литературе, пришедшие от Н.И.Вавилова, который в 1919 г. написал книгу «Иммунитет растений к инфекционным болезням». Действительно, в англоязычной фитопатологической литературе термин «иммунитет» встречается редко, чаще пишут «устойчивость» («resistance»).

Различия в понимании устойчивости к инфекционным болезням у растений и животных зависят от двух причин. Первая связана с факторами иммунитета у тех и других организмов. Известно, что основные успехи медицинской и ветеринарной иммунологии обусловлены использованием антител. Для функционирования этих факторов защиты от инфекции необходимы специализированные клетки и ткани, ответственные за иммунитет, в том числе



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



**Светлана Фикретовна Багирова**, кандидат биологических наук, научный сотрудник той же кафедры. Занимается молекулярной и популяционной структурой возбудителя фитофтороза картофеля и томатов, а также устойчивостью томатов к болезням.

гуморальная система, способная быстро доставить антитела в любое место. У растений и беспозвоночных животных дифференцировка не столь высока. Каждая клетка растения несет все функции, необходимые для создания целостного организма, в том числе и им-

мунные. Многочисленные попытки обнаружить антитела у растений были неудачными.

Вторая причина заключается в подходе медика и фитопатолога к защите от болезней. Как писал еще в 1933 г. американский фитопатолог К.Честер, «медик преимущественно занят

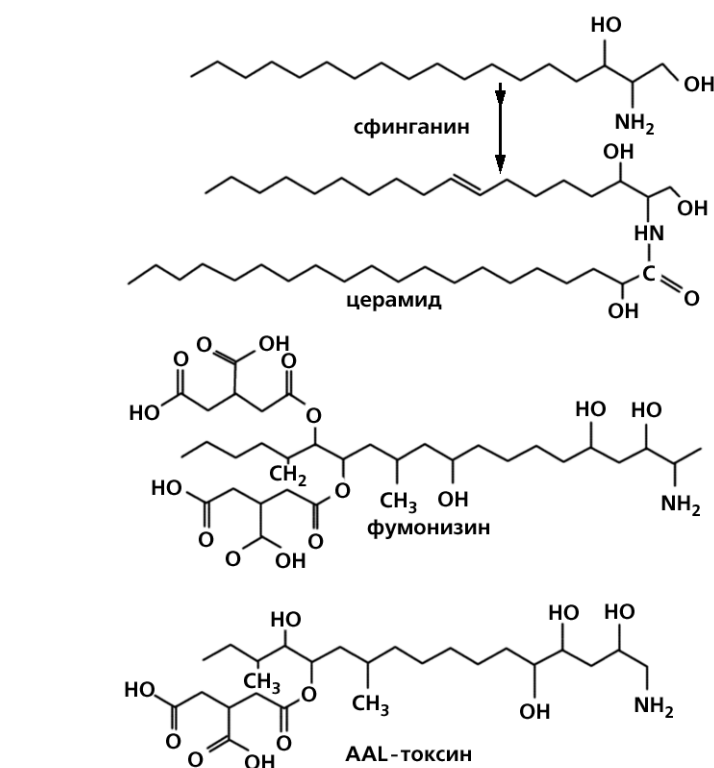
терапией, фитопатолог — профилактикой». У медика и даже ветеринара неизмеримо меньше подходов для использования наследственного иммунитета, чем у фитопатолога, поэтому в медицине основные успехи в защите от инфекций лежат на пути иммунизации, т.е. создания приобретенного иммунитета. Фитопатолог же имеет почти неограниченные возможности для искусственного заражения и отбора устойчивых экземпляров среди огромных популяций, а также для гибридизации, инбридинга, мутагенных обработок и проч. Эти преимущества и позволили создать путем селекции устойчивые к болезням сорта многих растений.

Таким образом, болезнеустойчивость позвоночных животных и растений отличается и по биохимическим механизмам, и по методологическим подходам. Это дало основание для шуточного высказывания известного иммунохимика о равновеликом расстоянии между тремя видами иммунитета — животных, растений и дипломатического (сейчас на слуху четвертый — иммунитет депутатский).

Однако по мере углубления знаний о природе болезнеустойчивости, особенно с появлением методов работы с рекомбинантными ДНК, различия в механизмах иммунитета растений и животных перестали казаться столь разительными. Сейчас накапливается все больше данных о сходстве между ними. Об этом и пойдет речь.

## Иммуномодуляторы патогенных микроорганизмов

Микроорганизмы, патогенные для животных и растений, выделяют в зараженные ткани и клетки метаболиты (*иммуномодуляторы*), влияющие на иммунные реакции. Одни из них, *индукторы*, или *элиситоры*, хозяин использует для распозна-



*Синтез церамида (регулятора клеточного цикла и апоптоза) из сфинганина и структура грибных антиметаболитов фумонизина и AAL-токсина. У растений эти токсины подавляют защитные реакции и транспорт сахаров, приводят к неопластическому росту и некрозам. У человека и сельскохозяйственных животных фумонизин вызывает гепатотоксикозы, разные формы неоплазмозов и гибель клеток.*

вания чужого и индукции в организме защитных реакций. Эти вещества повышают устойчивость как к самим микробам, продуцентам элиситоров, так и к последующему заражению иными патогенными организмами, т.е. представляют собой один из факторов индуцированного приобретенного иммунитета. Другие иммуномодуляторы — *иммуносупрессоры*, или *импедины*, — наоборот, подавляют защитные реакции и снижают иммунные свойства. И те, и другие иммуномодуляторы фито- и зоопатогенов сходны по своему строению и механизму воздействия на своих хозяев.

Так, близкие по структуре **углеводы** ( $\beta$ -глюканы, хитин и др.) служат иммуномодулято-

рами и растений, и животных. Углеводы фитопатогенов в зависимости от длины цепи, ее конфигурации и генотипа растения могут быть или индукторами, или супрессорами. У животных действие липополисахаридов и пептидоглюканов зависит от их концентрации: малые дозы стимулируют образование антител, большие — подавляют его.

Среди иммуносупрессоров или патотоксинов фитопатогенных грибов много **циклических пептидов**. Например, пентапептид паразита овса *Cochliobolus victoriae* (HV-токсин) подавляет активность фермента глициндекарбоксилазы, что приводит к супрессии иммунных ответов, нарушению ба-



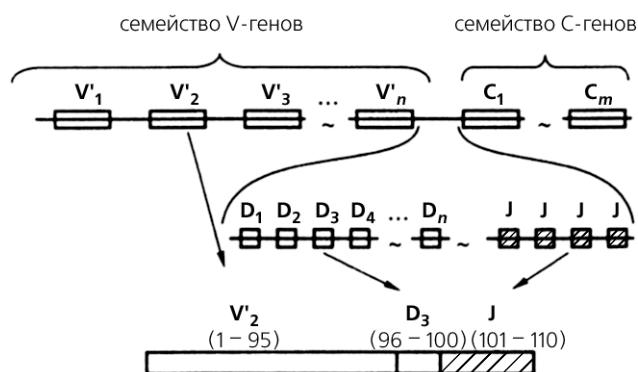


Схема участка хромосомы, включающего семейства переменных, V, и константных, C, генов (вверху). Численность V-генов в отдельных семействах варьирует от 50 до 1000, а C-генов — от 1 до 9. Внизу — сборка V-гена: V-фрагмент — контролирующей первые 95 аминокислот, D — следующие за ним от 2 до 10, J — концевой фрагмент V-гена, контролирующей от 5 до 10 концевых аминокислот. Районы ДНК, разделяющие V-D и D-J фрагменты, вырезаются и утрачиваются при сборке гена.

рьерных свойств мембран, гибели растительных клеток. У человека мутации этого фермента вызывают детальную болезнь — гиперглицинемию. Циклический пептид паразита кукурузы *Cochliobolus carbonae* (НС-токсин) представляет собой структурный гомолог трапоксина — ингибитора гистонов в клетках животных. Циклоспорин — циклический онедекапептид грибов из рода *Tolyposcladium* — обладает мощным супрессорным действием на позвоночных животных: подавляет синтез важного межклеточного медиатора (цитокина) интерлейкина-2 в Т-хелперных клетках и активизацию цитотоксических Т-киллеров интерлейкином-2. В связи с этим циклоспорины широко применяют при пересадке органов, ибо они предотвращают иммунное отторжение чужеродной ткани.

Подобные примеры сходства между иммуносупрессорами растений и животных можно найти и среди **белков**. Так, белок оболочки вируса табачной мозаики (ВТМ, молекулярная масса 17.5 кДа) индуцирует

сверхчувствительную реакцию (некроз зараженных клеток) табака; он активен только в виде кристаллических агрегатов. Некроз клеток у животных вызывает фактор некроза опухоли (ФНО, молекулярная масса 17 кДа), продуцируемый Т-лимфоцитами и макрофагами; он активен в виде агрегата из трех молекул и имеет гомологичные последовательности аминокислот со структурным белком сателлита вируса некроза табака. Продукт гена авирулентности *avrRxv* фитопатогенной бактерии *Xanthomonas vesicatoria*, поражающей томаты и перцы, индуцирует защитные реакции у устойчивых сортов. Он гомологичен фактору вирулентности *yaupj* бактерии *Yersinia pseudotuberculosis*, которая вызывает кишечные инфекции. Транспорт обоих белков через бактериальные мембраны осуществляют специальные белки, имеющие гомологичные области с продуктами *brp*-генов у фитопатогенных бактерий и белками секреторной системы типа III у патогенных для человека *Yersinia*, *Shigella* и *Salmonella*.

Не оставляют исключения и **липиды**. Арахидоновая (эйкозотетраеновая) кислота, продуцируемая возбудителем фитофтороза картофеля *Phytophthora infestans*, включается в состав фосфолипидов зараженных клеток, окисляется там ферментом липооксигеназой до эйкозаноидов. Эта кислота — активный индуктор окислительного взрыва, синтеза растительных антибиотиков (фенолов, фитоалексинов) и реакции сверхчувствительности. У животных она — предшественник эйкозаноидов, окисляется липо- и циклооксигеназами до лейкотриенов и простагландинов — медиаторов циклических нуклеотидов и агрегации тромбоцитов.

## Иммунные молекулы

Строение **антител** — иммуноглобулинов — хорошо известно: две полипептидные цепи — тяжелая (H, молекулярная масса ~50 кДа) и легкая (L, молекулярная масса ~25 кДа), соединенные дисульфидными связями. Каждая цепь содержит чередующиеся константные (C) и переменные (V) участки. Огромное разнообразие антител в организме, позволяющее узнавать множество чужеродных антигенов, обусловлено уникальным генетическим контролем их синтеза.

Продукты генов устойчивости растений названы **R-белками** (от англ. resistance — устойчивость). Структуру первых трех R-белков (из томатов, арабидопсиса и табака) установили сравнительно недавно — в 1993 г. С тех пор их описано несколько десятков.

В состав R-белков входит несколько структур, обеспечивающих, с одной стороны, взаимодействие с лигандом (элиситором) и с молекулами-мишенями (в частности, с ДНК), а с другой — передачу сигнала на другие молекулы — циклические нуклеотиды, протеинкиназы и др. Полипептидные цепи R-

белков образованы комбинациями фрагментов, что и обеспечивает растениям из разных классов и порядков устойчивость к вирусам, бактериям, грибам и даже нематодам. Следовательно, эти структуры возникли очень давно, до расхождения предковых растений на современные классы и порядки, выполняли иные, более общие, функции, связанные с рецепцией и передачей сигнала от возбужденного рецептора к генам. Значит, их иммунная функция вторична.

Гены устойчивости растений, контролирурующие синтез R-белков, расположены на хромосомах неслучайно. Широко распространены три типа локализации: **одиночное диаллельное** (один локус с двумя аллелями, контролирующими восприимчивость и устойчивость, которая, как правило, доминантна); **одиночное мульталлельное** (один локус с множеством кодоминантных аллелей, контролирующих устойчивость к разным видам и расам патоген-

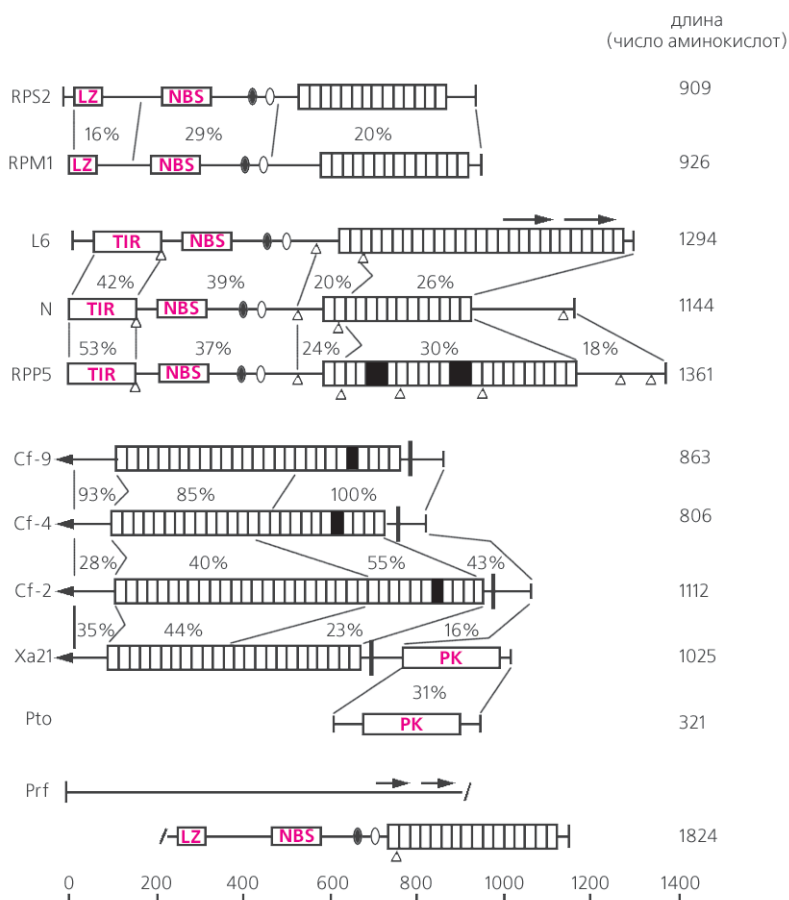
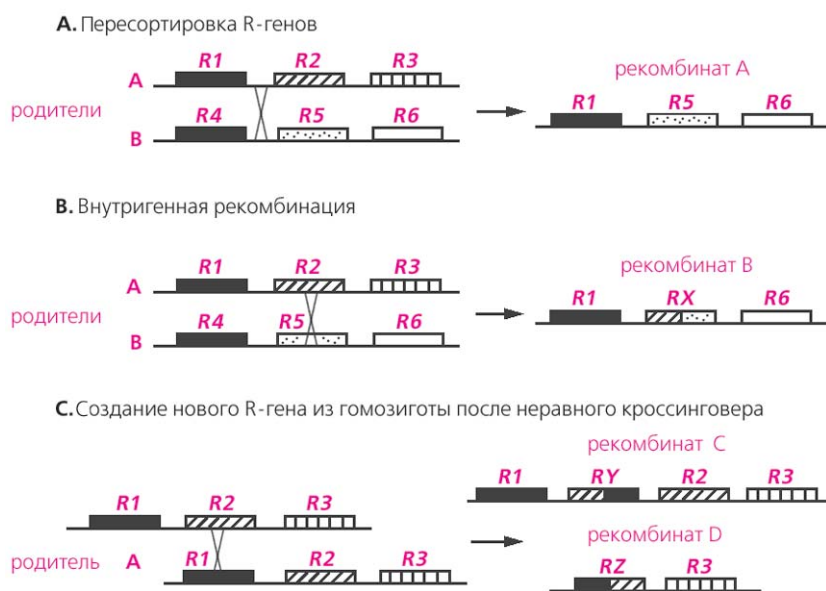


Схема строения R-белков. Заштрихованы C-концевые домены, которые содержат повторяющиеся последовательности, богатые лейцином (LRR-области). Каждый повтор состоит из 23–24 аминокислот. Эта структура, встречающаяся во многих белках эукариот, осуществляет белковые взаимодействия, т.е. служит рецептором, связывающимся с лигандом — элиситором патогена. NBS (Nucleotide Binding Sites) — сигнальная область, связывающаяся с АТФ и ГТФ, вследствие чего она может активировать киназы или сигнальные G-белки. LZ (Leucine Zipper Region) — область лейциновой «застежки», которая участвует в формировании спирализованных структур, ответственных за димеризацию или специфическое взаимодействие с другими белками. TIR (Toll/Interleukin-1 Resistance) — область гомологии с цитоплазматическим доменом Toll-белка дрозофилы и рецептором интерлейкина-1 млекопитающих. Возможно, TIR-область растительных R-белков несет сходные функции. PK — серин-треониновая протеинкиназа — фактор активации транскрипции и других сигнальных путей. Слева обозначены гены растений, кодирующие R-белки: RPS и RPM — гены устойчивости арабидопсиса к бактериям из рода *Pseudomonas*; L — ген устойчивости льна к ржавчине; N — ген устойчивости табака к вирусу табачной мозаики; RPP — ген устойчивости арабидопсиса к ложной мучнистой росе; Cf — гены устойчивости томатов к грибу *Cladosporium fulvum*; Xa — ген устойчивости риса к бактерии *Xanthomonas oryzae*; Pto и Prf — система генов, контролирующая устойчивость томатов к бактерии *Pseudomonas tomatum*. Справа — содержание аминокислот в белках. Внутренние цифры — проценты идентичных последовательностей в специфических областях. Стрелки указывают направления транскрипции, а треугольники — положения интронов.



	Расы патогена									
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	AX	AY	AZ	
родитель А				С	С	С	С	С	С	
родитель В	С	С	С				С	С	С	
рекомбинат А		С	С	С			С	С	С	
рекомбинат В		?	С	С	?			С	С	
рекомбинат С		?		С	С	С	С		С	
рекомбинат D	?	?		С	С	С	С	С		

| — несовместимые отношения  
С — совместимые отношения

Разные типы рекомбинаций (А, В, С) на хромосомном сегменте, содержащем локусы устойчивости растений к болезням (А – С). Внизу — гипотетические изменения устойчивости к расам патогенного микроорганизма, возникающие в результате рекомбинаций.

на); **сцепленное** (большое число ди- или мультиаллельных локусов сцеплены и образуют блок фенотипически сходных генов, определяющих устойчивость к одной или нескольким болезням). Вот некоторые примеры.

Ген устойчивости риса к бактерии *Xanthomonas oryzae* *Xa21* входит в мультигенное семейство, состоящее по крайней мере из восьми членов, которые картируются в одном локусе на хромосоме 11. На коротком плече

V-й хромосомы ячменя находится блок из пяти локусов, определяющих устойчивость к мучнистой росе; в одном из локусов — *Mla* — картировано около 20 кодоминантных аллелей. Устойчивость кукурузы к расам возбудителя северной ржавчины *Puccinia sorghi* контролируют пять локусов. Два из них — *Rpl* и *Rp5* — тесно сцеплены, причем в локусе *Rpl* картировано 14 аллельных и тесно сцепленных генов. Гены устойчивости томатов

к кладоспориозу (возбудитель — гриб *Cladosporium fulvum*) образуют несколько групп сцепления. Тесно сцеплены гены *Cfl*, *Cf-4* и *Cp*, расположенные на коротком плече хромосомы 1, а также *Cf-2* и *C-5* на коротком плече хромосомы 6. Последние, вероятно, аллельны, так как не рекомбинируют у гибридного потомства.

Возникновение кластеров сцепленных генов, функционально и, вероятно, структурно сходных, обусловлено внутри- или межгенными обменов участками ДНК, имеющими прямые (*abcd — a'b'c'd'*) или инвертированные (*abcd — d'c'b'a'*) повторяющиеся последовательности. Нити ДНК двух родителей в мейозе могут спариваться по гомологичным последовательностям, которые находятся в нехомологичных участках хромосом. Это приводит к неравному кроссинговеру. В результате у одного родителя участок хромосомы теряется (делетируется), а у второго — удваивается (дуплицируется), т.е. вместо одного гена появляется два сцепленных.

С этой точки зрения наибольший интерес представляет LRR-область R-белков с многочисленными повторяющимися последовательностями. Благодаря точковым мутациям, делециям, инверсиям такая структура обеспечивает генетическую реорганизацию. Экспериментально показано, что мутации, изменяющие реакцию на заражение авирулентными расами патогенов, картированы в LRR-области.

Большую роль в увеличении генетического разнообразия семейств генов устойчивости могут играть разрывы кодирующей части ДНК, вызванные внедрением мобильных генетических элементов. Так, у риса в локусе белка *Xa21* обнаружены транспозоны *Truncator* и *Retrofit*, приводящие к разрывам и образованию самостоятельных рамок считывания. Этот белок сочетает свойства двух белков тома-



та — мембранного рецептора и фермента протеинкиназы. Возможно, возникновение генов *C/9* и *Pto* обусловлено разрывом предшественника, подобного гену *Xa21*.

Таким образом, аналогично множественным генам иммуноглобулинов у млекопитающих, обеспечивающих синтез антител, у растений имеются белки, которые кодируются семейством сцепленных генов. Высокая вариабельность их генопродуктов позволяет быстро реагировать на заражение новыми вирулентными видами и расами паразитов.

## Передача сигнала и иммунный ответ

Между возбуждением рецептора и активацией генов иммунного ответа происходит трансдукция — передача сигнала, в ходе которой он многократно умножается. Процесс осуществляется *сигнальными системами* (как правило, общими для всех клеток), участвующими в регуляции разных сторон жизнедеятельности организма. Некоторые сигнальные системы функционируют в зараженных и больных клетках и тканях.

Например, инфекция растений и животных часто сопровождается *окислительным взрывом*, вызванным появлением активных форм кислорода (перекиси водорода, гидроксид-радикала, анион-радикала). В этом процессе важную роль играет NADPH-оксидазная система цитоплазматической мембраны. У растений она аналогична таковой у макрофагов и нейтрофилов млекопитающих. Иммунные сыворотки к ключевым компонентам NADPH-оксидазного комплекса животных взаимодействуют с растительными белками соответствующего размера. Клонированы гены риса, гомологичные гену мембранного белкового компонента NADPH-оксидазной системы нейтрофилов

животных. В клетках растений активные формы кислорода образуются также с участием пероксидазы клеточной стенки и оксалатоксидазы. Эти альтернативные пути появления активного кислорода не подавляются специфическими ингибиторами окислительного взрыва у животных.

Предполагают, что активные формы кислорода не только высокотоксичные соединения, способные локализовать инфекцию, но и участники сигнальной системы: супероксид-анион и перекись водорода активируют транскрипцию и, как следствие, экспрессию защитных генов.

Активным компонентом в сигнальной системе служит салициловая кислота, ее концентрация многократно повышается не только в местах инфицирования, но и в удаленных тканях. Поскольку салициловая кислота подавляет активность фермента каталазы, разлагающей перекись водорода, количество последней еще более возрастает. Не менее важна роль салициловой кислоты и ее ацетилированной формы (аспирина) в регуляции защитных реакций у позвоночных животных. В этом случае она блокирует синтез простагландинов и активность гена фактора некроза опухолей (ФНО), ограничивает продукцию интерлейкина 1, осуществляя тем самым противовоспалительное и жаропонижающее действие.

Одна из важных сторон присутствия в клетке активных форм кислорода — индукция клеточной гибели или апоптоза. Показано, например, что трансгенные растения табака, у которых подавлен синтез ферментов, разлагающих перекись водорода, гиперчувствительны к патогенам. У таких растений даже низкие дозы патогенов, не влияющих на контрольные растения, вызывают реакцию сверхчувствительности.

Работы последних лет выявили много общего между

апоптозом у животных и растений при реакции сверхчувствительности. В клетках зараженных растений освобождаются свободные 3'-концы ДНК, активируется  $Ca^{2+}$ -зависимая эндонуклеаза, появляются фрагменты ДНК размером около 50 тыс. оснований, а также олигонуклеосомные фрагменты. Для модельных систем показано, что такие фрагменты образуются только в несовместимых комбинациях растение—патоген. Кроме того, обнаружены остаточные апоптозные тельца, мигрирующие к периферии клетки. Токсин томатного патогена вызывает апоптоз и в клетках животных. В системе фасоль—ржавчина 3'-олигонуклеосомные фрагменты найдены только в клетках, содержащих выросты мицелия гриба (гаустории), что указывает на высокую специфичность процесса.

Морфологические изменения растительных клеток в апоптозе также сходны с таковыми у животных: резко уменьшается размер клетки, цитоплазматическая мембрана приобретает складчатость, ядро конденсируется и дробится, митохондрии набухают, протопласт отделяется от клеточной стенки и распадается на отдельные везикулы, подобные апоптозным тельцам. У животных апоптозные везикулы специализированными клетками, у растений же фагоцитозу препятствует клеточная стенка. При сверхчувствительной реакции вокруг очага поражения образуется перидерма, поскольку здоровые клетки приобретают меристематическую активность. Вероятно, в апоптозе растений участвуют хлоропласты, как и митохондрии у животных.

Индукторами апоптоза у животных и растений могут быть одни и те же иммуномодуляторы микроорганизмов. Внешний стимул в животных клетках активирует цистеиновую протеа-

зу — *каспазу*, которая расщепляет многие внутриклеточные белки, вызывая конденсацию цитоплазмы и фрагментацию ДНК. Многие растительные R-белки имеют участки, гомологичные регуляторам апоптоза у животных. Возможно, и функционально участки R-белков сходны с регуляторами апоптоза у животных.

\* \* \*

Благодаря молекулярным исследованиям стало ясно, что в процессах, обеспечивающих жизнедеятельность клетки и ее взаимодействие с окружающей средой, между простейшими эвкариотами, дрожжами, и венцом творения, человеком, гораздо больше общего, чем специфического. Поэтому не удивительно наличие общих механизмов в защите от инфекционных болезней. Переход от примитивных механизмов иммунитета у растений к совершенным, присущим позвоночным животным, заключается, видимо, в разделении функций.

Ведь у растений каждая клетка способна к синтезу молекул, узнающих чужое, к трансдукции сигнала в ядерный аппарат, токсическому действию на паразита и т.д. Сигнальные молекулы функционируют *внутриклеточно*, обеспечивая локальную иммунную реакцию. Хотя в ответ на заражение может возникнуть системная приобретенная устойчивость, она не абсолютна и проявляется лишь в снижении

восприимчивости к повторному заражению неинфицированных участков.

У животных иммунные функции разделены между рядом клеток — Т- и В-лимфоцитами, макрофагами и др. Сигнальные молекулы передают информацию *между клетками*, что обеспечивает усиление сигнала и его системное распространение. Этот механизм обусловил возникновение семейства сигнальных молекул — цитокинов (интерлейкины, ФНО и др.) и их рецепторов на поверхности иммунных клеток.

У растений возникновение такого механизма маловероятно и по структурным соображениям — наличию клеточных оболочек, препятствующих межклеточным обменам. Вероятно, с появлением функционально различных, способных к автономному размножению и системному распространению, клеток связано и другое принципиальное различие между иммунными системами растений и животных.

У животных главные защитные молекулы, антитела, высоко специфичны к определенным видам и даже штаммам патогенных микроорганизмов. Такая специфичность требует, во-первых, огромного разнообразия в строении иммунных молекул, которое может быть обеспечено только белками, и, во-вторых, механизма преимущественного размножения только того клона, который продуцирует нужное антитело. Ясно, что каждая

клетка растения, несущая все иммунные функции, не может обеспечить такую сложную систему защиты. Поэтому основные защитные молекулы растений низкомолекулярны (фенолы, терпеноиды) и неспецифичны, т.е. токсичны по отношению к большому числу видов патогенных грибов и бактерий. Специфичен, и то относительно, лишь их синтез в ответ на инфекцию. И хотя в зараженной клетке растения обычно образуется семейство близких по строению защитных молекул (например, фитоалексинов), все они неспецифичны и отличаются лишь степенью токсичности к разным патогенным микроорганизмам и чувствительностью к ферментам паразитов.

В последние годы меняется отношение фитопатологов и к практическому использованию приобретенного иммунитета. Только в отличие от животных и человека, иммунизация которых основана на заражении ослабленными штаммами паразитов, индуцирующими размножение необходимого клона лимфоцитов, иммунизацию растений проводят химическими соединениями, индуцирующими синтез неспецифических факторов защиты (абиотическими элиситорами). Сейчас многие зарубежные и отечественные фирмы производят такие соединения для практического использования: предпосевной обработки семян или клубней, летнему опрыскиванию вегетирующих растений и т.п. ■

# И у медуз бывают мутанты

К.Н.Несис,  
доктор биологических наук  
Москва

Всякий, кто хоть раз плавал в Черном (Белом, Японском) море, видел медуз. Самых обычных — ушастых медуз аврелий (*Aurelia aurita*). В Черном море многочисленны еще медузы-корнероты (*Rhizostoma pulmo*). У аврелии в колоколе хорошо заметны четыре крупные фиолетовые гонады, а под колоколом — столько же крупных ротовых лопастей. У корнерота тоже четыре ротовые лопасти, только каждая раздвоена. В общем, четырехлучевая симметрия. Она типична для сцифоидных медуз. Однако иногда встречаются особи с тремя, пятью или шестью гонадами и ротовыми лопастями. Аномальная симметрия!

Л.Гершвин из Калифорнийского университета в Беркли решила разобраться в этой аномалии\*. Она ловила медуз в море, а также работала с разводимыми в неволе — японскими по происхождению *Aurelia aurita* и местными калифорнийскими *Aurelia labiata*, кроме того, анализировала еще три вида. Сцифоидные медузы размножаются так: из яйца вылупляется крохотная личинка — планула. Поплавав некоторое время в толще

воды, она опускается на дно и становится сидячим полипом, который вскоре начинает делиться, превращаясь в нечто подобное стопке малюсеньких блюдечек на ножке. Блюдечки одно за другим, по два-три каждые сутки, отделяются (этот процесс называется стробилиацией) и расплываются. Название у них красивое — эфиры. Каждая эфира — это уже медуза, только недоразвитая. Она претерпевает метаморфоз и превращается в молодую медузу. Все эфиры от одного полипа генетически идентичны, как однояйцевые близнецы. И симметрию эфира сохраняет на всю жизнь. Прекрасная модель для исследования генетических закономерностей аномальной симметрии!

Гершвин ловила медуз *Aurelia labiata* в море у южной Калифорнии и определяла их симметрию. У Лонг-Бич аномальными оказались около 10% медуз: 10.8% самцов и 9.1% самок. Среди самцов, кроме обычных тетрамерных, часто попадались пента- и гексамерные, среди самок — в основном гексамерные. 10% аномальных особей — это очень много (как если бы каждый десятый встречный на улице был с тремя глазами!). Но у Ньюпорт-Бей аномальных медуз было меньше 5% (в один год чаще попадались тримерные, в дру-

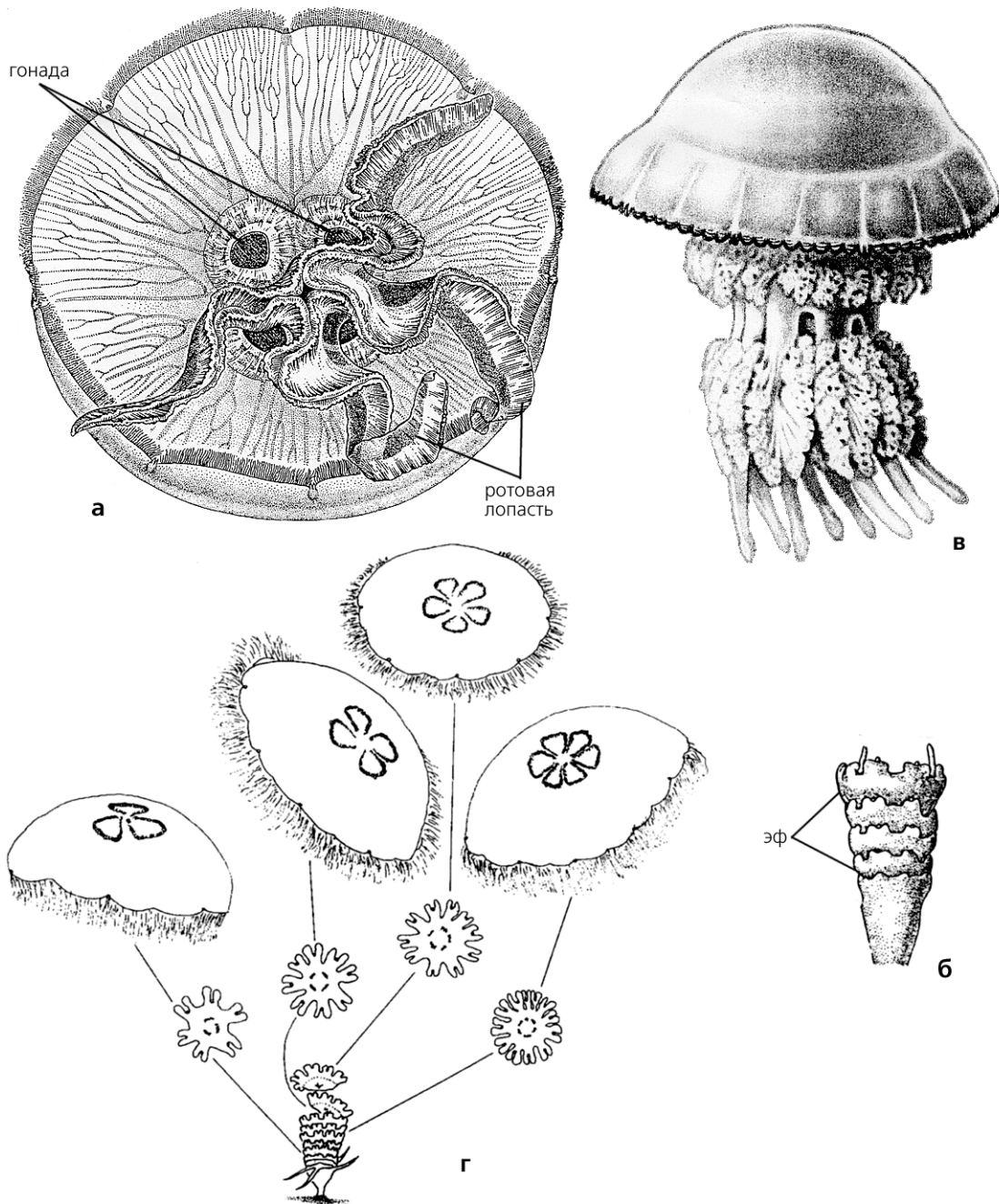
гой — пента- и гексамерные), а у Сан-Диего из 241 медузы все были нормальными! Хотя расстояние между этими пунктами всего в полсотни миль. Примерно такая же картина наблюдалась и у других видов медуз.

В аквариуме среди эфир, отделившихся от одного и того же полипа, встречались все варианты симметрии — от трех- до шестилучевой. Еще сильнее менялось число органов чувств — ропалиев (в норме их 8) и краевых лопастей (в норме 16). У эфир от одного полипа количество ропалиев колебалось от 4 до 12. Доля аномальных особей у родившихся в аквариуме *A.aurita* составляла 12.3%, у *Pelagia colorata* 11.3%. По литературным данным, частота аномальных особей у аврелий колеблется от полутора до 20—25%. Эти мутанты — не «безнадежные уроды», они живут и размножаются!

Получение потомства от аномальных (шестилучевых) аврелий оказалось задачей, гораздо более трудной, чем от обычных, но Гершвин это удалось. Одну линию она поддерживала 4.5 мес. Сначала почти все эфиры (88.9%) были аномальными, через 2 мес. их доля в новорожденном потомстве снизилась до половины (50.9%), а к концу опыта до 29%. Ни пониженная температура, ни химический стресс (действие йода) не влия-

\* Gershwin L. // J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 1999. V.79. №6. P.993—1000.





Медуза *Aurelia aurita*, вид снизу (а); образование эфир (эф) у аврелии (б); медуза *Rhizostoma pulso*, вид сбоку (в); схема образования медуз с трех-, четырех- (норма), пяти- и шестилучевой симметрией из эфир, отрожденных одним и тем же полипом (г)

ли на симметрию, хотя оба фактора воздействовали на отделение и метаморфоз эфир. Вывод ясен: аномальная симметрия — следствие случайной и чисто генетической изменчивости, не зависящей от факторов среды. Жизнеспособность таких медуз понижена, но они имеют какой-то механизм саморемонта, так что со временем положение нормализуется. Однако мутации возникают снова и снова с такой периодичностью, что стабилизирующий отбор не успевает убирать аномальных животных, и частота появления мутантов остается хоть и сильно изменчивой, но достаточно высокой.

Механизмы поддержания стабильности, вероятно, сильно различаются у разных видов животных с радиальной симметрией. Например, самая обычная мелководная морская звезда в водах нашего Приморья — па-

тирия (*Patiria pectinifera*) — обычно имеет пять лучей, но нередко звезды с четырьмя и шестью лучами, попадаются с тремя и с семью. Так же изменчиво число лучей у тропических звезд рода *Linckia*. А вот крупные красивые морские звезды рода *Asterias*, обычные у нас на севере и Дальнем Востоке, всегда пятилучевые. Значит, для медуз и некоторых видов морских звезд аномальная симметрия не столь опасна, раз стабилизирующий естественный отбор ее не запрещает, как, например, — трехглазых особей у позвоночных!

Возможно, изменение симметрии — один из важных путей эволюции кишечнорастворимых животных и родственных им групп. Коралловые полипы, например, более эволюционно продвинуты, чем сцифоидные медузы; среди них и вымершие палеозойские четырехлучевые,

и ныне здравствующие шестилучевые (актинии, мадрепоровые кораллы и др.), и восьмилучевые кораллы (мягкие альционии, роговые горгониевые, морские перья). А в докембрии, в вендский период, существовали животные спорного систематического положения, но близкие к кишечнорастворимым и характеризовавшиеся трехлучевой симметрией (некоторые из них были открыты и описаны М.А.Федонкиным\*). Не исключено, что переход в процессе эволюции кишечнорастворимых от трехлучевой симметрии через четырехлучевую к шести- и восьмилучевой был облегчен нестрогим закреплением порядка симметрии и постоянным появлением аномалий — «сырья» для движущего естественного отбора. ■

\* Федонкин М.А. Загадки вендской фауны // Природа. 1989. №8. С.59—72; 2000. №9. С.3—11.

### Спутники следят за состоянием лесов и ядерных объектов

Летом 2000 г. был запущен американский спутник IKONOS, предназначенный для мониторинга территорий, пострадавших от лесных пожаров, искусственной радиации или находящихся под угрозой таких воздействий (GeoEurope. 2000. V.9. №11. P.11. Великобритания; <http://www.spaceimaging.com>). Получаемые из космоса оптические изображения с разрешением ≈1 м (а в инфракрасной части спектра ≈4 м) позволяют определять состояние природных и искусственных объектов с высокой точностью. Первым практическим испытанием спутника стало наблюдение в ИК-диапазоне

большого пожара в штате Юта, что позволило Национальной лесной службе США оперативно установить участки, нуждающиеся в десанте пожарных.

Затем IKONOS предоставил информацию о крупных возгораниях в национальных лесах «Секвойя» и «Кливленд» (оба в штате Калифорния), заповеднике в штате Нью-Мексико и др.

Особое значение специалисты придают информации, собранной над территорией Лос-Аламосской национальной лаборатории (штат Нью-Мексико): там размещаются центр ядерных исследований, предприятия по производству ядерного оружия и хранилища отходов с радионуклидами. Недавний крупнейший лесной пожар грозил этим объектам

трудно предсказуемыми последствиями. Хотя огонь и не добрался до самой лаборатории, растительность вокруг нее была уничтожена, а почва повреждена. Возникла новая угроза: земля практически перестала впитывать осадки, а это грозит наводнением при первых же сильных дождях. В таком случае возможно распространение радионуклидов и загрязнение обширной территории.

Данные со спутника дополняются материалами аэрофотосъемки. Разрабатываются планы срочного строительства дамб и барьеров, препятствующих в случае необходимости распространению радиоактивной влаги.



*Давид Абрамович Киржниц (1926—1998).*



# СКАЖИ МНЕ, КТО ТВОИ ДРУЗЬЯ...

## К 75-летию Давида Абрамовича Киржница

«Скажи мне, кто твои друзья, и я скажу, кто ты». Эта расхожая поговорка сразу поможет объяснить читателю, далекому от физики, вес личности, о которой пойдет речь. С Давидом Киржницей не просто дружили, в общении с ним по-настоящему нуждались такие разные люди, как физики Сахаров, Тамм и писатель Искандер.

Работы Киржница оказали влияние на развитие многих разделов физики. Таковы физика конденсированного состояния, физика атомных систем, квантовая теория поля, космология, астрофизика, теория фазовых переходов, теория сверхпроводимости и многое другое. Но коллеги особенно ценили в нем талант ощущать и понимать физику как единое целое. Это помогало ему взглянуть на проблему с новой точки зрения, дающей неожиданный импульс для ее рассмотрения.

В «Природе» Киржниц был желанным автором. Но, как и наши читатели, мы до конца не понимали всего богатства его личности, которое нельзя не ощутить в предлагаемой публикации. Она состоит из двух частей — воспоминаний Б.М.Болотовского и очерка самого Киржница, рассказывающего о далеких годах его отрочества—юности, которые пришлось на годы войны.

## Больше сорока лет рядом

Б.М.БОЛОТОВСКИЙ,  
доктор физико-математических наук  
Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН  
Москва

В середине 50-х годов в Теоретическом отделе ФИАН появился новый сотрудник — Давид Абрамович Киржниц. Выпускник Московского государственного университета, он был распределен на большой оборонный завод в Горький, где проработал несколько лет инженером. Оттуда его «освободил», добившись перевода в ФИАН, заведующий нашим отделом Игорь Евгеньевич Тамм. Игорь Евгеньевич хотел зачислить

Киржница в Теоретический отдел сразу после окончания университета. Но в то время (1949-й год) сделать это оказалось невозможно по ряду причин. Во-первых, Киржниц был, как говорят, «инвалидом пятой группы». Во-вторых, его отец подвергался аресту в годы массовых репрессий по обвинению в измене (он, как утверждало обвинение, хотел продать Дальний Восток Японии). И хотя после интенсивного следствия его выпустили, сведения об этом также могли помешать делу.

В-третьих, Игорь Евгеньевич Тамм в то время еще не имел в глазах чиновников достаточного веса и потому не смог преодолеть «во-первых» и «во-вторых».

Находясь в Горьком, Киржниц продолжал в свободное от работы время научные исследования, начатые еще на студенческой скамье. В Горьковском университете было сильное радиофизическое отделение. Киржниц познакомился с несколькими физиками, в частности с Г.С.Гореликом и М.А.Миллером. Дружба с Миха-



Студент. 40-е годы.

илом Адольфовичем Миллером сохранилась на всю жизнь. Не помню точно, в 1954 или 1955 г. Киржниц прислал Тамму несколько своих работ (по квантовой электродинамике, по мезонной теории ядерных сил — всего три рукописи). Тамм передал их своему сотруднику В.П.Силину, однокурснику Киржница, поручив рассказать о них на семинаре Теоретического отдела. После доклада и обсуждения было решено добиваться перевода Киржница с горьковского завода в ФИАН. К тому времени Игорь Евгеньевич был, наконец, избран действительным членом Академии наук СССР, награжден высшей государственной наградой (после победоносного испытания водородной бомбы). Благодаря этому в Теоретическом отделе и появился новый сотрудник. В первые дни и месяцы я замечал некоторую растерянность на его лице. Он не мог поверить собственному счастью.

Вскоре мы стали друзьями, и тесное наше общение в течение нескольких десятков лет занимает важное место в моей жизни. Мы нередко ожесточенно спорили и по некоторым вопросам были антиподами. Но,

как сказала Н.Я.Мандельштам, антиподы — это точки одного пространства. Одна у нас была система ценностей. Есть люди, с которыми я во многом расхожусь, во многом и очень важным для меня. Тем не менее мне бы в голову не пришло считать их своими антиподами. Мы обитаем в разных пространствах. А наши с Давидом споры, несмотря порой на резкость, преследовали одну, возможно и несбыточную, но общую цель — выявить истину.

Давид познакомил меня со своей женой, красавицей и умницей Радой Полоз. Отец Рады, Михаил Полоз, как и отец Давида, Абрам Киржниц, также попал под жернова сталинских репрессий. Он был арестован и расстрелян в 1937-м, а позднее Рада как дочь «врага народа» была сослана в Казахстан и смогла вернуться только во времена Хрущева. И Давид и Рада гораздо лучше меня видели реальное положение вещей в нашем государстве, они его постигли, как говорится, на собственной шкуре.

\*

Площади, выделенные Теоретическому отделу, были не очень велики, а численность сотрудников, хотя и медленно, но возрастала, и становилось тесно. В каждой комнате сидело по несколько сотрудников.

Давиду было предоставлено место для работы, с одной стороны, почетное, а с другой — не вполне постоянное. Он работал в кабинете Тамма и сидел за его столом. Вместе с Давидом в этой комнате работал и Владимир Иванович Ритус. Но находиться на своих рабочих местах они могли только в отсутствие Игоря Евгеньевича. Когда тот появлялся, они собирали свои бумаги и перебирались в библиотеку.

Нередко Тамм приходил только для того, чтобы обсудить с Давидом свои результаты, а также трудности, возникавшие по ходу работы. Игорь Евгень-

вич занимал в жизни Давида совершенно особое место. Ни к кому другому, пожалуй только за исключением своей матери, Давид не относился с такой любовью и таким уважением. Игорь Евгеньевич не оказывал на него никакого давления в выборе области исследования. Научные интересы Давида в то время определялись темой его дипломной работы, которую он выполнил под руководством профессора А.С.Компанейца. В дипломной работе Киржниц вычислял квантовые поправки к уравнению Томаса—Ферми. Научные интересы Игоря Евгеньевича были далеки от этой области, но, узнав о планах Киржница, Тамм с энтузиазмом поддержал их.

На заседании ученого совета ФИАНа, когда Давид защищал докторскую диссертацию, Игорь Евгеньевич дал ей высокую оценку и добавил:

— В течение последних трех лет я работаю над квантованием пространства и времени на основе гипотезы о кривизне импульсного пространства. В процессе работы я необычайно много помощи получил от Давида Абрамовича, и не только ряд ценных советов, но в подлинном смысле слова руководящие указания. Я хочу воспользоваться случаем, чтобы поблагодарить его за эту помощь.

Докторскую диссертацию Киржниц мог бы защитить на несколько лет раньше, чем он это сделал. Он знал свою силу, но ставил себе очень жесткие требования. Если бы на него не оказывалось все возрастающее давление — и со стороны Игоря Евгеньевича, и, пожалуй, всех сотрудников отдела — Киржниц так и не начал бы писать свою докторскую.

Защитился он очень хорошо, единогласно. О выступлении Тамма на защите написано выше. А после, за банкетным столом, собравшим всех сотрудников, Давид произнес короткую речь, в которой назвал чудом свой переход с завода в Теоре-

тический отдел и предложил выпить за здоровье творца этого чуда — Игоря Евгеньевича Тамма.

В 1960 г. моя жена Нона родила сына и в течение года не работала, денег постоянно не хватало, приходилось одалживать. И я с благодарностью вспоминаю, что Давид безотказно ссужал мне деньги, которые я, конечно, отдавал. Обычно на уплату долгов шли гонорары за статьи и за лекции.

Когда же моя жена скоропостижно умерла, оставив сына двух с половиной лет, Давид и Рада много сделали, чтобы помочь пережить тяжелое потрясение. Они брали меня с собой в загородные походы, я часто бывал в их гостеприимном доме.

В 1964 г. я стал близким соседом Давида и Рады. Наша семья — мои родители и я с сы-

ном — поселились на ул.Обручева, а Давид жил на ул.Новаторов. Мы стали видеться еще чаще. Обычно я приходил к нему без предупреждения, когда выдавалась свободная минута. Давид откладывал работу, вставал из-за стола, на котором стояла пишущая машинка, и мы шли на кухню пить чай. Это только так говорилось, а на самом деле еще раньше чая на столе появлялась бутылка — Давид доставал ее из холодильника, Рада ставила на стол закуску, садилась рядом, и начинался разговор. Давид был великий мастер рассказа, мастер беседы.

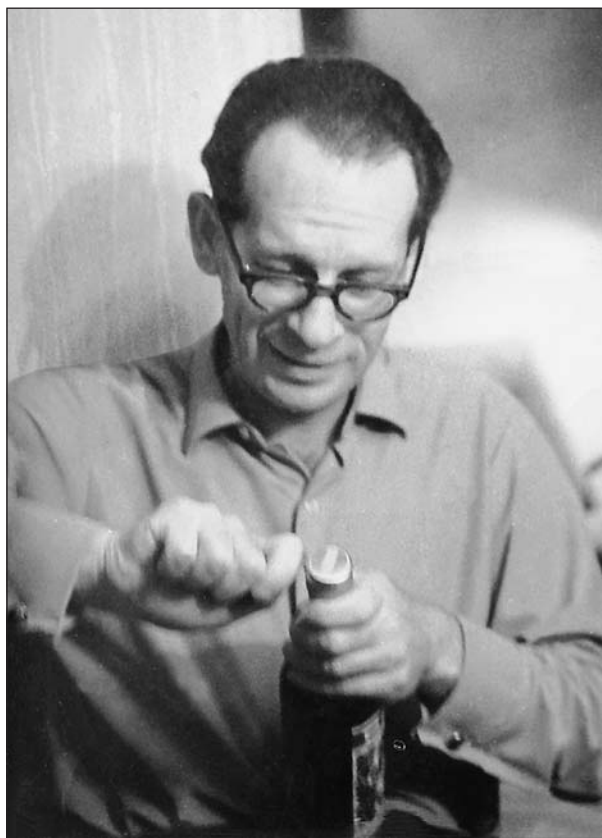
Он ценил шутку, и сам был остроумен. Когда я женился во второй раз, Давид находился в Узбекистане и, поздравляя меня по телефону, сказал, что привезет свадебный подарок. По приезде вручил мне уздечку для ишака.

\*

В 1969 г. в Теоретический отдел вернулся Андрей Дмитриевич Сахаров, около 20 лет проработавший на Объекте. Вернулся он академиком, трижды Героем Социалистического Труда и всемирно известным человеком. Известен он был к тому времени не только как «отец советской водородной бомбы», но и как автор замечательной работы «Размышления о прогрессе, мирном сосуществовании и интеллектуальной свободе». Поскольку многие положения этой статьи расходились с официальной советской идеологией, Сахаров как неблагонадежный был освобожден от работы на Объекте. Игорь Евгеньевич Тамм, учитель Сахарова, не без труда добился того, чтобы его безработный ученик был

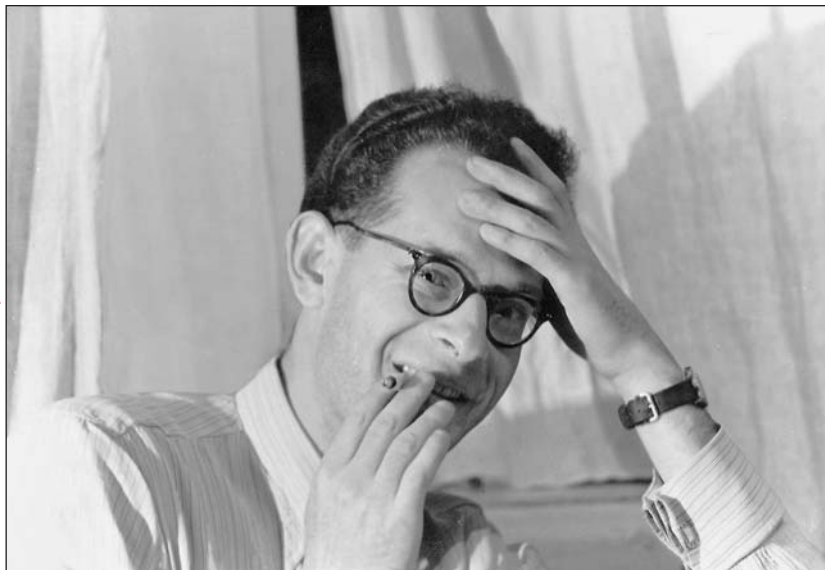


С Радой Михайловной. 60-е годы.



У себя дома. Пришли гости.





На отдыхе. 70-е годы.

зачислен в штат Теоретического отдела ФИАН.

К тому времени работа Сахарова «Размышления о прогрессе, мирном сосуществовании и интеллектуальной свободе» была переведена на многие языки и издана на Западе общим тиражом около 20 млн экземпляров. У нас же в стране она была под запретом. Тем не менее машинописные копии статьи ходили по рукам. Одна такая копия дошла до Давида, он прочитал сам и дал мне. Мы были согласны с основным содержанием статьи, но предложенный в конце «лучший вариант» развития человечества мы считали неосуществимым. И оказались, к сожалению, правы.

Научные интересы Сахарова и Киржница во многом перекрывались. Работы Киржница по уравнению состояния вещества в экстремальных условиях — при высоких температурах, плотностях и давлениях — были интересны Сахарову, поскольку имели отношение к механизмам термоядерного взрыва, а также и к различным сценариям развития Вселенной на ранних стадиях. Квантовая теория поля, космология, общая теория относительности также находились

в сфере их общих интересов — в этих областях они оба активно работали. Потому после прихода Сахарова в Отдел научное общение Сахарова с Давидом вскоре стало достаточно тесным. Но было и общение, выходящее за рамки науки.

Андрей Дмитриевич все более активно включался в общественную деятельность. В то время (первая половина 70-х) человека могли посадить в тюрьму за то, что при обыске у него нашли запрещенную книгу, или за то, что он высказывал взгляды, противоречащие официальной идеологии. Нормального человека могли заключить в психиатрическую больницу. Андрей Дмитриевич старался чем мог облегчить участь узников совести. Он писал письма в их защиту руководству страны, помогал семьям, сотрудничал с адвокатами. Однажды принес написанное им письмо в защиту одного из узников и спросил, не желает ли кто-нибудь подписать его вместе с ним.

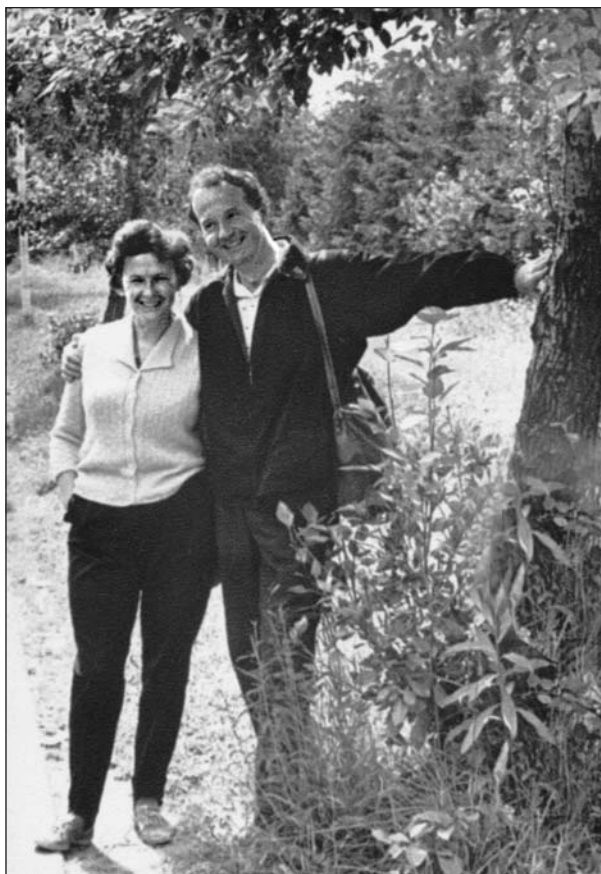
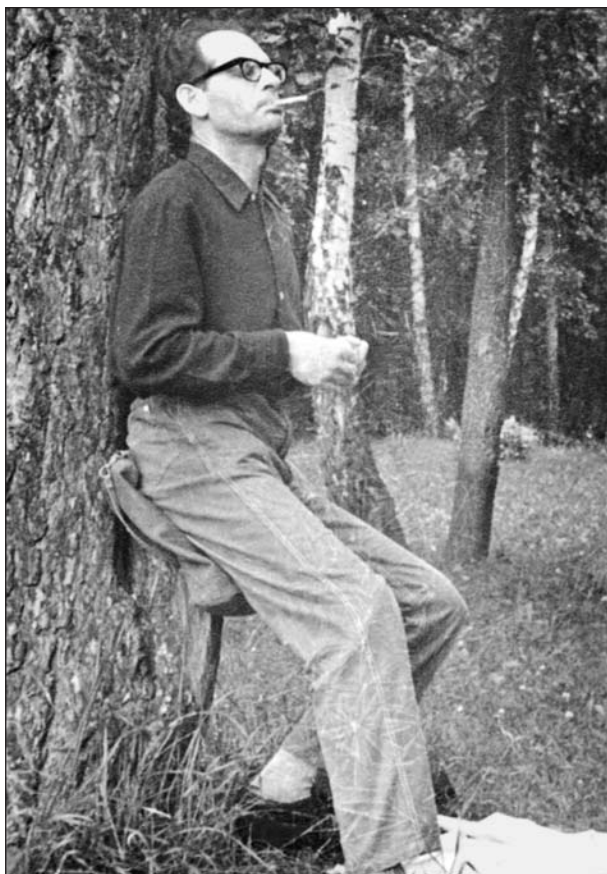
— Это очень корректное письмо, там нет ничего, что могло бы оскорбить руководство, — сказал Сахаров.

Письмо и вправду было корректным и умеренным и пресле-

довало только одну цель — облегчить положение человека, арестованного за то, что у него при обыске нашли несколько запрещенных книг. Давид и еще несколько присутствующих подписали письмо. А потом оно — не знаю каким образом — попало на «голоса». И было зачитано, и были оглашены фамилии подписавших, в том числе и Давида.

Последствия могли оказаться самыми тяжелыми. Давид с видимым напряжением ждал, какое наказание последует, и мы все за него переживали. Но в тот раз обошлось. Несколько позднее Давид, как и другие сотрудники Отдела, отказался поставить свою подпись под письмом, осуждающим общественную деятельность Сахарова. С точки зрения партийного руководства, он вел себя неправильно. Может быть, этим объясняется тот факт, что он почти совсем не выезжал на научные конференции, проходившие за пределами СССР.

Своим научным контактам с Давидом Сахаров придавал большое значение. Это стало очевидно тогда, когда они были прерваны в связи с высылкой Сахарова в Горький. Когда сотрудникам Отдела разрешили ездить к ссыльному академику для обмена научной информацией, Андрей Дмитриевич в нескольких письмах, адресованных заведующему Теоретическим отделом В.Л.Гинзбургу и старейшему сотруднику отдела Е.Л.Фейнбергу, просил направить к нему Киржница для обсуждения, как он писал, «животрепещущих вопросов» физики. Однако первое время Давид не мог получить «добро». Дело в том, что каждая командировка к Сахарову должна была пройти утверждение на уровне более высоком, чем дирекция нашего Института. Точно не знаю, что это был за уровень, но скорее всего кандидаты на поездку утверждались в Комитете государственной безопасности. Так или иначе, Давида не пускали, к Сахарову ездили другие сотрудни-



*В Расторгуево. Слева – Давид Абрамович. Справа – Рада Михайловна с Владимиром Ивановичем Ритусом.*

ки. Андрей Дмитриевич продолжал настаивать на визите Киржница и, наконец, в одном из писем в Отдел заявил, что откажется от научных контактов, если Киржницу не будет разрешена командировка. Не от Отдела это зависело. Но, видно, письма Сахарова читали не только адресаты. Киржниц получил разрешение на командировки в Горький. За годы ссылки Сахарова Давид посетил его трижды.

Поездки вызывали у Давида тяжелые переживания. С одной стороны, это была большая честь, и представлялась редкая возможность обсудить актуальные проблемы науки с таким выдающимся ученым, каким был Сахаров. И для Андрея Дмитриевича та научная информация, которую привозил Киржниц, тоже была важна, потому что он находился в полной изоляции,

горьковских физиков к нему не допускали. С другой стороны, невыносимо тяжело было видеть, в какие условия поставлен величайший человек нашего времени, сосланный без суда и следствия, отгороженный от внешнего мира. Вечером Давид прощался с Андреем Дмитриевичем и отправлялся к горьковскому физика М.А.Миллеру. По дороге он покупал бутылку водки. Миша Миллер и его жена Светлана любили Давида. Несколько часов, проведенных с ними, приносили Давиду облегчение. Ближе к полуночи он отправлялся на вокзал, к московскому поезду.

Но пришел все-таки радостный день — спасибо Горбачеву, — и Андрей Дмитриевич вернулся в Москву.

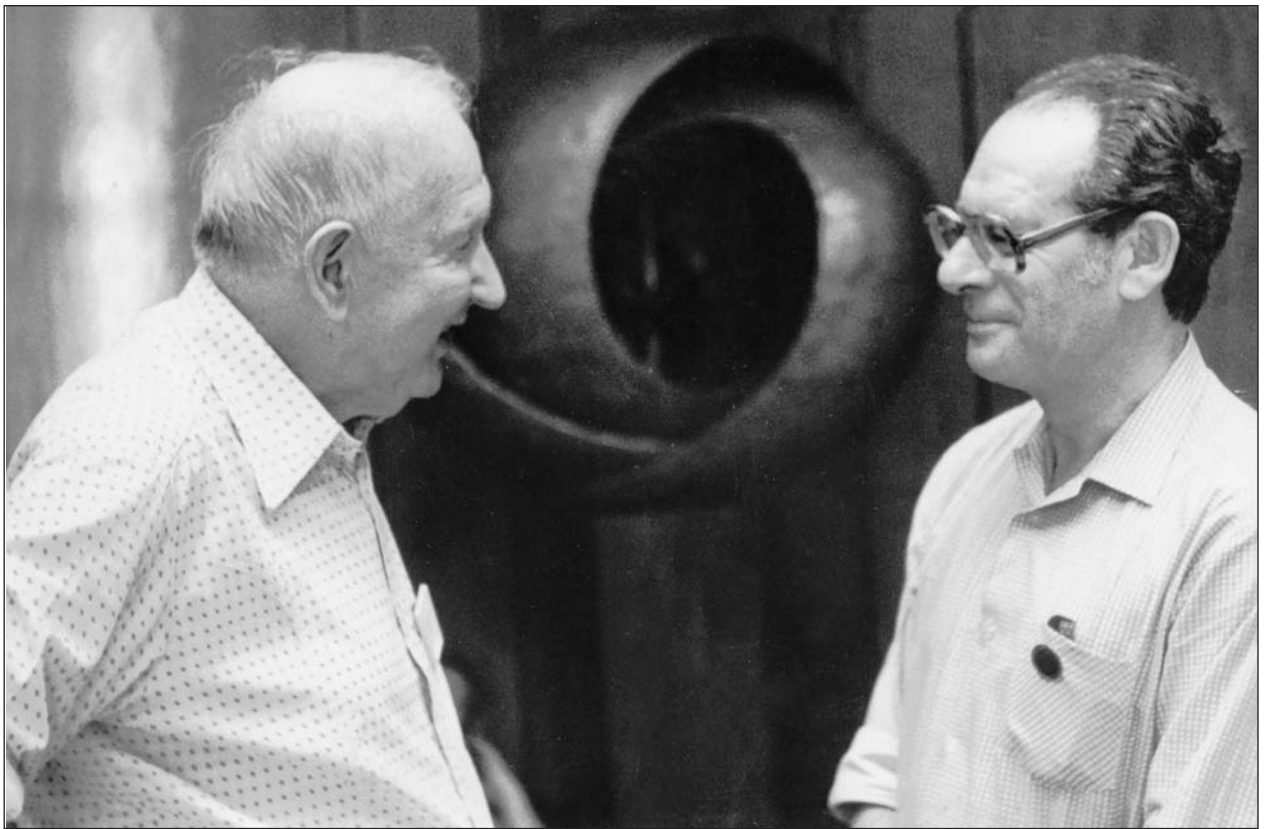
В первые же выборы после возвращения Сахарова из ссыл-

ки Давид был избран членом-корреспондентом Академии наук. Андрей Дмитриевич активно этому способствовал.

Давид написал об Андрее Дмитриевиче несколько прекрасных мемориальных статей. Кроме того, он был членом редакционной коллегии при издании научных трудов Сахарова и в этом качестве проделал большую работу, несмотря на то, что уже тогда был серьезно болен. Сборник был издан в 1995 г.

\*

Давид напряженно работал и дома, и в институте. Когда бы я ни приходил к нему, я всегда видел его за работой — в первые годы с пером в руке, позднее — за пишущей машинкой, а еще позднее — за компьютером. До-



С М.А.Марковым.

ма он отвлекался, когда приходили гости — всегда был им рад. На работе же нередко, заходя к нему в кабинет, я слышал: «Извини, пожалуйста, я занят», — или, если был не один: «Мы заняты».

Но при всей занятости он успевал следить за художественной литературой. Помню, когда была напечатана повесть Солженицына «Один день Ивана Денисовича», а потом рассказы «Случай на станции Кречетовка», «Матренин двор» и маленькие его рассказы, Давид мне сказал, что появился новый большой писатель. Потом Солженицына перестали печатать. Его романы «Раковый корпус» и «В круге первом» ходили по рукам в самиздатовских машинописных копиях. Дошли и до меня.

Свое 50-летие Солженицын встретил в Рязани, где тогда жил постоянно. Давид узнал рязан-

ский адрес Солженицына, и мы отправили ему поздравительную телеграмму. В библиотеке нашего института работала Тамара Константиновна Хачатурова, замечательная во многих отношениях женщина. Она была знакома с Солженицыным. Давид попросил ее узнать, не нужна ли Александру Исаевичу материальная помощь. Тамара поговорила с Солженицыным. Тот сказал, что денег ему не нужно, а вот от нескольких банок растворимого кофе он бы не отказался — это ему помогло бы в работе. В те годы растворимый кофе купить было трудно. Давид добыл несколько банок и через Тamarу передал Солженицыну. Кроме того, Солженицын сказал, что если мы соберем деньги, он их передаст машинистке на перепечатку романа «В круге первом», а напечатанные копии достанутся нам. Мы скинулись по 120 рублей —

нас было пять человек, включая Давида и меня, — и через некоторое время каждый из нас получил по три увесистых тома в картонных переплетах.

Дело было подсудное, книга «В круге первом» была под запретом. Но, как говорится, страшен черт, да милостив Бог. Обошлось.

Почти 40 лет прошло с тех пор. Рада мне сказала, что машинописный трехтомник, который достался Давиду, сохранился до настоящего времени. Это по существу музейный экспонат, красноречиво говорящий о прошлом. Что касается моего трехтомника, то он почти сразу же пошел по рукам, и скоро следы его затерялись. Я не огорчался — пускай читают.

\*

Отец Давида, журналист Абрам Киржниц, принял активное



участие в создании Еврейской автономной области (со столицей Биробиджан) на Дальнем Востоке. В частности, он был одним из основателей газеты «Биробиджанер Штерн» («Биробиджанская звезда»), выходящей на языке идиш. Где-то в начале 80-х годов Давид принял участие в конференции по физике твердого тела, которая проходила на теплоходе, плывущем по Амуру. На обратном пути он сошел с теплохода и провел дней десять в Биробиджане. Вернувшись, он с увлечением рассказывал о людях, с которыми познакомился там, о своем визите в редакцию газеты, где работал когда-то его отец. Он радовался тому, что отца помнили. Он рассказывал, что в редакции его поразили пишущие машинки: во время работы каретки этих машинок перемещались не налево, а направо. Объяснялось это тем, что на языке идиш пишут справа налево.

\*

В конце 80 — начале 90-х годов «Огонек» был одним из самых читаемых журналов. Однажды я увидел там сообщение, что создан фонд, задачей которого было обеспечить медицинские учреждения одноразовыми шприцами. В одном из последующих выпусков «Огонька» был помещен список тех, кто внес деньги на текущий счет фонда. В этом списке был и Киржниц.

\*

Последние несколько лет своей жизни Давид тяжело болел. У него были мучительные приступы астмы. Возможно, астма возникла как отдаленное следствие работы на горьковском заводе. В производственный цикл входили химические реакции с участием фтора — чрезвычайно активного химического элемента. Время от времени случались утечки фтора. Давид свою густую шевелю-



Одна из последних фотографий. 1997 г.

ру объяснял как раз тем, что фтор укрепляет корни волос. Но, по-видимому, фтор оказывает воздействие и на дыхательные пути.

Кроме того, Давид был курильщиком, причем курил, если можно так сказать, по-черному. Курил не сигареты, а папиросы одного сорта — «Беломорканал» — до тех пор, пока их не перестали выпускать. Выкурив папиросу, через несколько минут закуривал другую. На семинарах и научных сессиях он не мог выдержать положенного времени без курения — отходил в последние ряды и закуривал, а выкурив папиросу, заталкивал окурки в пустую спичечную коробку или в свернутый для этой цели бумажный кулек, клал все в карман и возвращался на свое место.

К астме добавилось еще заболевание сердца. Давид по несколько месяцев в году находился в больнице. В 1998 г. его не стало.

Незадолго до кончины он прочитал на физическом факультете Московского государ-

ственного университета два совершенно новых курса — «Строение вещества» (от кварков до макроскопических тел) и «Ядерная физика твердого тела». И готовиться к лекциям, и читать ему было тяжело, но он получал большое удовлетворение от того интереса, который проявляли к его лекциям слушатели — студенты и преподаватели физического факультета.

\*

Когда начались экономические реформы Гайдара, Давид был полон энтузиазма и горячо поддерживал все гайдаровские мероприятия. Я же довольно быстро пришел к выводу, что такое реформаторство носит по преимуществу разрушительный характер и сродни тому, про которое у Салтыкова-Щедрина сказано: «...старый храм разрушит, нового не возведет и, насоривши, исчезнет, чтоб дать место другому реформатору, который также придет, насорит и уйдет».

По этому поводу у нас с Давидом происходили длительные

споры. Он неизменно высказывался в поддержку Гайдара. При этом нередко присутствовал наш общий друг Морис Фикс, который был на стороне Давида. На выборах в Думу Давид неизменно голосовал за

гайдаровское объединение «Демократический выбор России». Узнав однажды, что я голосовал за Явлинского, Давид осудил меня, употребив при этом в мой адрес несколько непарламентских выражений.

Гайдару он был предан до последних дней своей жизни.

Кто из нас был прав, судить не мне. Но есть изречение, которое всех примиряет: голосуй за кого угодно, все равно потом пожалеешь. ■

# Там, где будет город Челябинск-40

Д.А.Киржниц

8 июля 1941 года, через две недели после начала войны, от перрона Савеловского вокзала отошел эшелон с детьми московских медиков, эвакуируемыми на Урал, где для них создавался детский интернат. По прибытии на место — город Кыштым Челябинской области — интернат временно разместился в пионерском лагере у подножия горы Егозы, а к началу учебного года перебазировался на зимние квартиры. Ими стало здание пустующего дома отдыха напротив села Метлино, на реке Тече, в 25 км от Кыштыма. Именно там позднее возник закрытый город Челябинск-40, а в 1957 году прогремел утаенный от мира взрыв, поднявший на воздух многие тонны радиоактивных отходов...

С осени 41-го до лета 42-го года я командовал интернатским радиоприемником, с чем и связаны прямо или косвенно сюжеты приводимых далее воспоминаний.

## 1. Школу экстерном

В Метлино была только семилетка, и поэтому старших ребят — примерно 10–15 человек — отправили обратно в Кыштым, где имелась десятилетняя школа. В их числе был и я, окончивший семилетку до войны. В Кыштыме, маленьком пыльном индустриальном городке, привлекательного было мало, и я соблазнился предложением моего товарища сдавать школьную программу экстерном. По этому с позволения начальства мы вернулись в Метлино, где я остался на год, а мой соблазнитель вскоре уехал к своей матери (врачу госпиталя на берегу озера Увильды, где позднее начали работать моя мать и сестра, а потом и я сам).

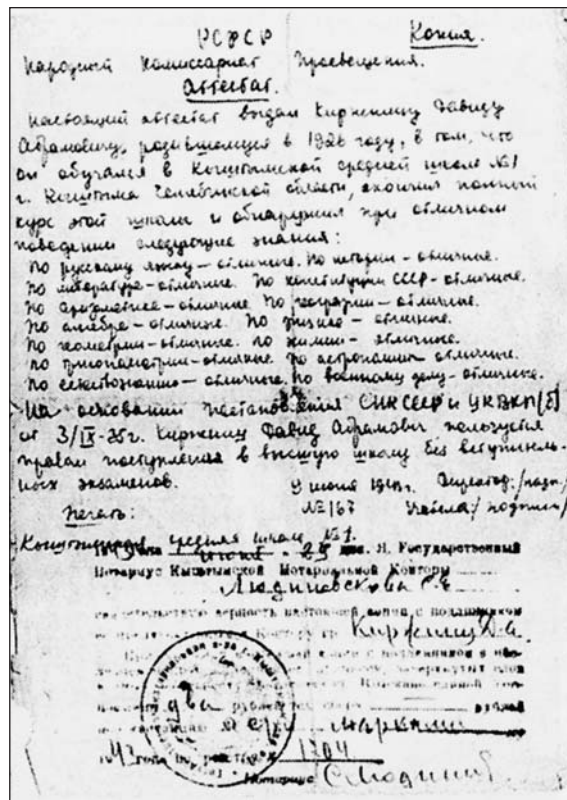
Я серьезно нацелился осилить за первый учебный год программу двух классов — 8 и 9-го. Это было вполне реально: с учебниками, славу богу, мне помог интернат, навыками самостоятельной работы с книгой я обладал, ничто не отвлекало от дела, было относительно тепло и не очень голодно. С фи-

зикой и химией не было вообще проблем, большую часть математики за десятилетку я превозмел еще до войны, трудности были с гуманитарными предметами, особенно с иностранным языком. Но так или иначе в конце зимы и в начале лета 42-го года состоялись две мои поездки в Кыштым для сдачи экзаменов за оба класса\*. Педагоги отнеслись ко мне очень тепло и даже по-матерински (мужчин среди них уже не было), и я до сих пор вспоминаю добром директора школы Берлинскую и особенно завуча Нину Васильевну. Хорошо помню также эвакуированную из Москвы преподавательницу французского Ольгу Львовну Долгополову, которая, как я узнал позднее, была одним из ведущих в стране специалистов по романским языкам, автором нескольких словарей. К сожалению, я забыл фамилию преподавателя астроно-

\* Не обошлось тут и без смеха: когда лите- раторша, написав на доске три темы сочинений, вернулась через час с вопросом, как дела, я ответил, что первую тему написал и сейчас оканчиваю вторую — это было первое сочинение в моей жизни.



В Метлино. 1941 г.



Копия аттестата об окончании Кыштымской средней школы.

мии (профессора эвакуированного из Ленинграда Пединститута им.Герцена), который, экзаменуя меня, ежеминутно восклицал: «Ах! я снова забыл, что вы школьник, а не студент...» В общем, было трудно, но интересно.

Через год в той же школе, пройдя в заочной средней школе курс 10-го класса, я сдавал и заключительные экзамены. В результате летом 43-го года в моих руках оказался аттестат об окончании средней школы. С ним я поехал в областной военкомат в Челябинск с намерением подать документы в военное училище — и был изгнан со словами: «Гуляй, пока не призвали!» С ним же я вернулся в конце лета в Москву и поступил в Московский авиационный институт.

## 2. Радиоприемник «Колхозник»

Итак, осенью 41-го года я очутился в метлинском интернате и оказался там старшим по

возрасту (без малого 15 лет). В это время интернату в порядке исключения разрешили иметь радиоприемник, и вскоре у нас появился трехламповый батарейный супергетеродин «Колхозник» — плохонький собрат наших довоенных приемников СИ-235, ЭЧС-3, ЭКЛ-34. Его вместе с батареями поместили внутрь специальной тумбочки, запирающейся на замок.

Нужно пояснить, что в начале войны все приемники было приказано сдать (по-видимому, это был страх перед не контролируемым властями источником информации). Добавлю для иллюстрации, что годом позже, живя уже при госпитале и работая в тамошней школе, я нашел в отвалах старого рудника кристалл свинцового блеска, наматал катушку-вариометр, а у моего коллеги-учителя остался с «довойны» наушник и конденсатор. Из всего этого мы собрали простенький детекторный

приемник, едва берущий Челябинскую станцию (90 км). Кстати, именно он поведал нам о переходе наших войск в наступление под Сталинградом, и мы на радостях перебудили весь дом. А наутро пожаловал политрук госпиталя, забрал приемник и приказал запросить Челябинск, разрешены ли детекторные приемники. Ответ областного радиокomiteта гласил: «только репродукторы».

Работать с «Колхозником» и владеть ключом от тумбочки было поручено мне — я был старшим и, кроме того, считался радиолюбителем. Действительно, до войны я несколько лет занимался в радиокружке сначала в Деме пионеров, а потом на Детской технической станции. Благодаря этому я узнал о начале войны раньше других. В аккурат поздним вечером 21 июня 41-го года мы с моим товарищем, кончив монтировать на его даче трехламповый регенера-



тивный приемник, завалились спать. Вернувшись рано утром с купанья, мы услышали от бледного и потрясенного отца товарища (он, проснувшись, начал крутить ручки приемника), что весь мир уже кричит о нападении немцев на Россию. А по нашему радио до 12 часов — до выступления Молотова — передавали сплошные марши...

Как хозяин «Колхозника» я был обязан дважды в день слушать сводки Совинформбюро и вывешивать их для всеобщего сведения. Для этого, разумеется, я должен был наладить антенну и заземление, следить за состоянием ламп, батареей, не оставлять тумбочку незапертой и вообще содержать приемник в порядке. Всем этим я честно занимался до лета 42-го года, когда окончательно сели батареи без надежды достать новые. А вскоре после этого я покинул интернат и уехал к родным в увильдинский госпиталь.

### 3. Немецкое радио

Кое-чего я делал «нечестного», в чем и хочу покаяться. Представьте себе октябрь 41-го, немецкое наступление на Москву, она на осадном положении, паника 16-го числа (впрочем, о ней мы узнали позже). У меня в Москве мама, от которой нет никаких вестей (потом я узнал, что она пыталась эвакуироваться, вернулась в Москву и затем эвакуировалась вторично). Неудивительно, что я очень тревожился за нее. Огромная тревога была и за Москву, и каждое утро, услышав позывные и слова: «Внимание! Говорит Москва...», мы вздыхали с облегчением (хотя теперь понятно, что те же слова звучали бы, даже если бы немцы дошли до Куйбышева). Однако информации о событиях на фронте явно недоставало, и из нее нельзя было понять причин катастрофических темпов нашего осеннего отступления (только много позже стало известно о вяземском и брянском котлах, которые по существу и определяли обстановку под Москвой в это время). И вот

в поисках дополнительной информации мы с приятелем после немалых колебаний решились в одну из ночей половить иностранное радио. Конечно, это была авантюра хотя бы потому, что языков мы не знали. На наше счастье как раз передавали приказ Гитлера перед началом очередного наступления (кстати, это была копия приказа Наполеона: «Солдаты, столько столиц Европы склонилось перед вами. Сейчас вы находитесь у стен последней столицы — Москвы. Вас ждут теплые зимние квартиры и т.п.»). Он читался на всех языках покоренной Европы, в том числе на польском, словацком, сербском, так что его смысл был понятен. То, что мы услышали — бои в 100 км до Москвы, в районе Можайска, Малоярославца и т.д., — совпадало с нашими данными и нас несколько успокоило.

Но история с этим ночным слушанием имела драматическое продолжение. Вскоре меня вызвала наша заведующая Ревекка Борисовна Славина (которой я, пользуясь случаем, низко кланяюсь за все, что она для всех нас сделала, и от всей души желаю доброго здоровья). Она отрекомендовала сидящего у нее незнакомого молодого человека в пиджачке и при галстукке как работника райкома комсомола. А от него я услышал, что, как им известно, в интернате регулярно по ночам ловят немецкое радио и что он ждет моих объяснений на этот счет. И тут меня как прострелило! Я сразу понял, что это никакой не комсомолец, а энкаведешник; я знал из многократных призывов матери к осторожности, что полная уголовная ответственность наступает с 12 лет; и я ясно почувствовал, что мое поведение в ближайшие минуты решит мою судьбу. Обычно я плохо владею собой в серьезные моменты, краснею, мямлю, но тут от сознания критичности ситуации прибавилось и душевных сил и самообладания. Как мне

потом сообщила Р.Б., я, не изменившись в лице, спокойно сказал, что не знаю, откуда у него такие сведения, что моя обязанность, которую я и выполняю, — принимать и вывешивать сводки, что в редких случаях, когда меня просят, мы открыто слушаем музыку, но никакого немецкого радио я не ловил и ловить не собираюсь. Видимо, сказано это было достаточно весомо, и чекист, помолчав, промолвил: «Ну, ладно, можешь идти». К счастью, этим все и кончилось и никаких последствий эта история не имела, не считая, конечно, моей долгой релаксации к нормальному состоянию (настойщий страх пришел лишь на следующий день). Потом я узнал, не помню откуда, что заложила нас воспитательница, которая дежурила в ту ночь где-то не очень далеко от приемника. Что побудило ее подставить подростков 14 лет под 58-ю статью? Видимо, одно из страшных последствий эпохи 37-го года — уцелевших заразили шпиономанией, врагобоязнью и павликоморозовщиной...

### 4. Беседы у приемника

Другим «нечестным» деянием, связанным с приемником, были разговоры, которые вел со мной очень симпатичный пожилой бухгалтер нашего интерната по фамилии Обрадович (насколько помню, его звали Сергеем Дмитриевичем). Это был типичный «недорезанный» интеллигент, невьясокий, полуседой, в пенсне, со скромными усиками щеточкой и старомодным произношением.

Свела нас вместе обстановка на фронте. На дворе стоял июль 42-го, немцы были под Ростовом и рвались к Сталинграду и на Кавказ. С.Д. мучительно переживал события, понимая, что решается судьба России. Поэтому он регулярно сидел рядом, когда я принимал сводки. Конечно, мы не молчали и часто, особенно в отсутствие посторонних, вели разговоры на самые разные темы. Прежде всего это были комментарии к фрон-

товыми событиями (С.Д., как я понял, имел какое-то отношение к армии во время первой мировой войны). Помню, например, что о падении Ростова прямо в сводках не говорилось, но это название вдруг из них исчезло, а появились бои в районе Батайска (город за Доном, южнее Ростова). Я предположил, что наверное немцы Ростов обошли, но С.Д. меня обрезал: «Не будь дураком, неужели ты не видишь, что армия бежит...» Далее, он много расспрашивал меня о родителях, очень смеялся, узнав, что мой дед в Иркутске прятал троих беглых ссыльных — меньшевика, большевика и бундовца, а потом выдал за них трех своих дочерей, задавал много вопросов о моей довоенной жизни. Немного С.Д. рассказывал и о себе. Сейчас я уже точно не помню, но у меня осталось впечатление, что какой-то форме репрессий он и его семья были подвергнуты.

По-видимому, у него накопилось на сердце, и он остро нуждался в собеседнике. Как это ни удивительно, но в наших разговорах он не раз далеко переходил границы осторожности и благоразумия, по существу вверяя свою судьбу 15-летнему подростку, который мог его выдать хотя бы по простой неопытности или неосторожности. Так, отвечая на мой вопрос о причинах наших поражений первых двух лет войны, С.В. сказал, что вслед за Тухачевским, Якиром и др. были репрессированы многие тысячи высших и средних командиров. Он дал мне понять, что, хотя и молится за нашу победу (как я понял, С.Д. был глубоко религиозным человеком), но считает нашествие немцев справедливым — в некотором высшем смысле — возмездием руководству страны за те жертвы (и человеческие, и духовные), которые она понесла в довоенные годы, а ее населению — за то, что терпело такое руководство. Одновременно он много рассказывал о тоталитарном устройстве немецкого рай-

ха, о руководящей роли фашистской партии (в ней ячейки создавались не по месту работы, как у нас, а по месту жительства) и т.п. В общем, С.Д. подводил меня к мысли, что между Германией и СССР нет какой-либо принципиальной разницы и что, страшно сказать, наш режим не очень отличается от фашистского. И все время повторялся главный рефрен «Несчастливая Россия!» — в смысле, как я понимал, не только 42-го года, но и предыдущей четверти века. Эти разговоры за радиоприемником укрепили мои критические взгляды (о них говорится ниже), хотя, конечно, счастья не прибавили — жить с этим грузом стало еще труднее.

Почему же все-таки С.Д. проявил в беседах со мной существенно меньше осторожности, чем это полагалось по суровым законам того времени? Дальше я попытаюсь ответить на этот вопрос.

### 5. Тридцатые годы

Мне кажется, что С.Д. просто посчитал меня заслуживающим доверия. Прежде всего, он сразу увидел, что я интраверт, держу свои мысли и эмоции внутри себя, и нужны усилия, чтобы они вышли наружу. Поэтому маловероятно, что я просто так сболтну что-нибудь лишнее. А главное, С.Д. почувствовал, что по своему развитию я стою заметно ближе к нему, чем к своим сверстникам. Понимаю, что сказанное скорее всего вызовет недоверие и будет воспринято как проекция нынешнего умонастроения на то время. В попытке все же убедить читателя мне придется отвлечься от интернатской темы и вернуться к довоенным временам.

Мои родители, как я думаю, понимали достаточно много — отец был старый революционер, член Бунда, оставшийся беспартийным при слиянии этой партии с РКП, а для матери дороже всего были общечеловеческие ценности, но при мне они ничего плохого о режиме не говорили. (Впрочем, во вре-

мя Большого Террора, когда от редких гостей постоянно слышалось: «Наверное, Сталин ничего не знает...», — отец так откровенно ухмылялся, что это замечал даже я, отрок, а во время войны у нас с мамой происходили уже вполне откровенные разговоры.) Однако у меня был дядя (беглый меньшевик, прятавшийся у деда, см. выше), достаточно умный и смелый человек, который не выбирал выражений. «Нами правит шайка бандитов» — его неизменный возглас, звучавший, когда в начале 30-х годов семья собиралась за столом и он разворачивал газету. Будучи тогда шестисемилетним соплянком, я, конечно, не мог проникнуться смыслом этого возгласа, но какой-то след в душе он оставил.

А потом этот след постепенно начал углубляться. 32-й, 33-й годы, непрерывные звонки в дверь — крестьянки с детьми просят корочку хлеба, по дороге в школу на скамейках на бульваре лежат голодающие, и не поймешь, живы ли они, а солдатики (крестьянские же дети!) сгоняют их сапогами и прикладами. 32-й год (примерно), мне шесть лет, мы, полуголодные воспитанники детской группы на Яузском бульваре, стоим вокруг мальчика и смотрим, как он ест ослепительно белую булку с какой-то невиданной красной рыбой. У нас же хорошо, если есть ломтик черного хлеба с повидлом. «А у меня папа чекист», — говорит мальчик гордо.

34-й год, декабрь, темно, я возвращаюсь из школы и останавливаюсь около стенда с газетой. «Убит Киров» — а за спиной голос: «Ну, теперь такое начнется, только держись... Qui prodest\*». 36-й, 37-й годы, всеобщая вакханалия, исчезают один за другим друзья дома, старые каторжане и ссыльные, герои гражданской войны и подполья, мои кумиры с раннего детства, вопросы к родителям («Неужели

\* Это юридический термин «Кому выгодно (тот и преступник)», — как мне объяснила дома мама, кончившая когда-то гимназию.

дядя Вася, у которого шашка с орденом, может быть врагом народа?») и их невразумительные объяснения. 37-й год, процесс Пятакова—Радека, по всей стране митинги с требованием расстрела, я среди домохозяек и пенсионеров в ЖАКТе (тогдашний ЖЭК), испуганные лица, попробуй сказать что-нибудь не так — разорвут в клочья.

Февраль 1938 года — арест отца, обыск, красноармеец шарит в моей постели, лейтенант Огурцов вызывает по телефону машину, отца уводят... Март того же года — конец процесса Бухарина, большая переменка в школе, мы с моим другом Володей Шумяцким (сыном расстрелянного сибирского большевика) играем под лестницей, пролетом выше нянечка протирает пол, сипит радио: «...к высшей мере наказания — расстрелу: Бухарина Николая Ивановича, Рыкова Алексея Ивановича, Крестинского Николая Николаевича...» — нянечка бормочет вполголоса: «Ууу, людоед, не напился еще кровушки, все тебе мало, ирод!..» — мы это слышим и переглядываемся.

Январь 40-го года — отец оправдан и возвращается с подорванным здоровьем домой после двух лет следствия в Бутырках, я подслушиваю его скудные рассказы о том, что такое активное следствие: медицинская комиссия в начале следствия (для тех, кто пойдет на процесс) с целью выявления слабых мест организма, на которые потом воздействует следователь; отца, всю жизнь мучившегося от, деликатно выражаясь, почечуя, сажают на стул с торчащим ржавым гвоздем; ему удалось сделать петлю, но уйти из жизни ему не дали (умер он уже на воле через три месяца после возвращения)...

Начало 41-го года, вместо урока литературы нас ведут в Музей Горького, в его дом на Спиридоньевке. Особняк Рябушинского—Шехтеля, роскошные апартаменты, дивная лестница, редчайшая коллекция

японских поясных украшений — «нэцке», — на которую Буревестник потратил, наверное, не меньше, чем Рябушинский на свои дома и яхты. Ничего себе, великий пролетарский писатель!..

И еще одно трагическое событие, ужас которого раскрывался передо мной постепенно... У упомянутого выше дяди Васи (Василия Сергеевича Анучина) была дочь Ляля, друг моего детства, — наши матери были подругами с гимназических времен. В 37-м году ее отец, командир отряда, освобождавшего в гражданскую войну Иркутск от белоохранителей и тогда же покорившего сердце молодой студентки, был взят и вскоре расстрелян (его прах покоится в братской могиле №1 на Донском кладбище). Через короткое время взяли и мать, а Лялю, которая была старше меня года на два, приютили дальние родственники. После этого она исчезла и перестала появляться у нас дома. На мои расспросы о ней мама как-то странно отводила глаза. А потом я случайно подслушал ее разговор с кем-то и узнал, что Ляля, не выдержав тоски по родителям, травли в школе и горькой сиротской жизни у родственников, застрелилась 15 лет от роду из охотничьего ружья...

Все эти события медленно, но верно деформировали мое сознание, подтачивая тот стереотип взглядов и поведения, которым обладали мои товарищи. Их упоение пионерской символикой, тимуровскими, макулатурными и металлоломными подвигами, уверенность в своем счастливом детстве, дарованном великим Сталиным, в самой свободной в мире стране, убежденность, что страна кишит шпионами и диверсантами, — все это стало вызывать у меня улыбку (а потом и раздражение). Хотя, конечно, до настоящего понимания того, что произошло с нашей несчастной страной в XX веке, было еще очень и очень далеко, но и того,

что уже имелось, было достаточно для утраты той незамутненности восприятия мира, которую требует нормальное детство и отрочество. Впрочем, множеству детей и подростков, оторванных от родителей и брошенных в детприемники, спецдетдома и даже в лагеря, было еще во сто крат хуже...

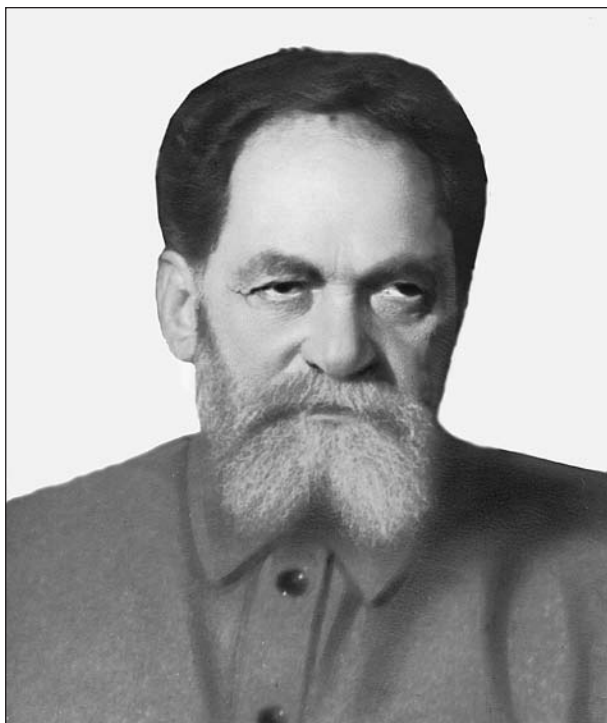
Хочется надеяться, что этот экскурс в проклятые довоенные годы не только объяснит, откуда взяли критические взгляды у совсем еще зеленого юнца, но и природу доверия со стороны моего старшего друга. Он, надеюсь, убедит моих друзей по интернету, что их старший товарищ был нередко «в думу погружен» (как писала позднее в своей поэме Рина Межебовская) не от большого ума, а скорее наоборот — от мучительных (ведь шла смертельная схватка с фашизмом!) и в большинстве бессильных попыток ответить на кучу проклятых вопросов при полной невозможности задать их прямо и открыто окружающим...

## 6. Коротко о родителях

Моя мать, Любовь Соломоновна Киржниц, родилась в г. Рогачеве в Белоруссии в 1897 году, ровно 100 лет тому назад. <...>

Когда Л.С. была еще девочкой, дед со всем семейством вырвался из черты оседлости и переехал в Иркутск. Он занимал официальную должность казенного раввина, к религии не имеющую отношения, а отвечающую функциям нынешнего ЗАГСа в еврейской общине. Кроме того, дед был этнографом-любителем, заочным учеником академика Веселовского, автором многих книг. Бабушка была преподавательницей иностранных языков. Дом деда был одним из культурных центров дореволюционного Иркутска, где собиралась интеллигенция, ссыльные, местные жители-субботники, исповедующие иудаизм; частым гостем там был известный исследователь Азии этнограф Г.Н.Потанин.





*Дед Киржница по материнской линии.*



*Мать — Любовь Соломоновна. Январь 1970 г.*

После окончания гимназии Л.С. поступила на исторический факультет Иркутского университета, но проучилась там всего два года. Рождение дочери, моей старшей сестры, а затем гражданская война заставили ее бросить учебу. Вместе с дочерью и мужем она эмигрировала во время колчаковщины в Харбин, откуда семья собиралась уехать в Америку (и даже уже были куплены шифс-карты). Однако вместо этого все они вернулись в Иркутск, затем жили до 1924 года в Новониколаевске (Новосибирске) и потом окончательно осели в Москве.

Не получив законченного образования, Л.С. ряд лет занималась журналистикой, потом служила в совучреждениях и лишь за несколько лет до войны нашла работу, которая отвечала ее способностям и темпераменту, — она стала культработником в психиатрических больницах и работала в этой

должности (исключая войну) до самой пенсии. Эта работа была далеко не проста и требовала, помимо чисто профессиональной, литературной, художественной, музыкальной и актерской культуры, еще и определенных психологических и медицинских знаний, интуиции и быстроты реакции, простого человеческого мужества (работать приходилось и с буйными больными). Во время же войны она работала медицинским статистиком и вела учет всего, что относилось к раненым (так тогда называли раненых), в госпиталях — сначала в эвакогоспитале №3881 в Нижнем Кыштыме, затем в эвакогоспитале №3116 на озере Увильды. На новый, 1942, год она подбила еще нескольких мам, и они пешком, в сильную метель, пришли за 25 км в Метлино из Кыштыма.

Л.С. была человеком твердых моральных принципов, развитого чувства долга и совести.

Перед самой войной невольно, в результате роковой случайности, она причинила зло одной женщине, и это мучило ее постоянно, вплоть до последних дней жизни. Она обладала высокой культурой в сочетании с природным интеллектом, хорошо знала литературу, историю и музыку, сама неплохо играла на рояле. В то же время она начисто была лишена снобизма по отношению к так называемым «простым людям», и я не раз был свидетелем, как они привязывались к ней, испытывая благодарность за то добро, которое они от нее видели. После смерти мамы, последовавшей в 1977 году за три дня до ее 80-летия, осталось немало людей, сохранивших о ней добрую память.

Отец, очень занятой человек, ушедший из моей жизни, когда мне было всего 11 лет, мало занимался моим воспитанием. Эта забота почти целиком легла на



Отец — Абрам Давидович.  
Иркутск, 1915 г.

плечи матери, которой я обязан всем хорошим, что во мне было, когда я вышел в самостоятельную жизнь...

Мой отец, Абрам Давидович Киржниц, родился в 1887 г. в г.Бобруйске в семье мелкого ремесленника. Хотя его официальным образованием было всего лишь четыре класса городского училища, он стал высокообразованным человеком (в частности, владел несколькими европейскими языками). Этим А.Д. обязан самообразованию. Сам он в анкетах в графе «Образование» писал «тюремное» (было в 20—30-х годах такое общепринятое понятие), поскольку имел немалый дореволюционный тюремный и ссылочный стаж, а в то время тюрьма была подлинным очагом культуры. Впрочем, и в конце 30-х в своей камере в Бутырьках, через которую проходили

инженеры, учителя, военные, врачи, ученые, отец организовал лекторий, где каждый делился с сокамерниками знаниями по своей специальности. Вместо доски использовалась спина согнувшегося слушателя в темном пиджаке, вместо мела — отковыренный кусок штукатурки. К слову сказать, физик Ландау, тогда же сидевший в Бутырьках, до этого не додумался и очень страдал от отсутствия карандаша и бумаги (знаю это с его слов).

По профессии отец был историком революционного движения и революционной печати, библиографом и журналистом. Он был автором десятков книг и брошюр, множества газетных заметок. К сожалению, из его литературного наследства уцелело крайне мало, а свою библиографию он начал писать незадолго до смерти уже в больнице и успел ее лишь начать. К стыду своему я, его сын, плохо представлял себе масштабы следа, который он оставил в историографии России начала века. Тем большим было мое удивление, когда лет 20 назад меня разыскал молодой историк А.В.Ратнер, а 10 годами позже на собрании Академии наук ко мне подошел член-кор. из Ленинграда Р.Ш.Ганелин. Оба они интересовались архивом отца. Еще удивительнее был звонок из Минска, из редакции «Беларуской Энциклопедии», с просьбой прислать заметку об отце.

Задолго до революции отец стал активным деятелем Бунда, боровшегося, как известно, за национально-культурную автономию евреев в России. Неудивительно, что в конце 20-х годов, когда на Амуре была выделена территория для освоения ее нашими и зарубежными

евреями, отец стал одним из руководителей соответствующей переселенческой организации — ОЗЕТ. Он не один раз ездил туда — сначала на станцию Тихонькую с первой партией переселенцев, корчевавших тайгу в трескучий мороз, потом в возникший из этой станции г.Биробиджан. Не так давно, во время конференции на Амуре, я нашел в архивах следы деятельности отца.

В начале 1938 г. отец был арестован и два года содержался в Бутырьках. Готовился большой процесс «о продаже Дальнего Востока японцам», где в числе обвиняемых была большая группа сотрудников ОЗЕТА. В итоге следствие (имевшее «активный» характер) дотянулось до прихода Берия, и дело было прекращено, а сам отец получил свободу в январе 1940 г. Мы его ждали, так как и арест, и освобождение озовцев происходили по алфавиту. В апреле того же года отец, здоровье которого было подорвано, скончался...

На его похоронах мама подвела меня к группе мужчин в шляпах, сказала: «Это сын А.Д.», — а они как взрослому протягивали мне руку и называли себя — Перец Маркиш, Давид Бергельсон, Самуил Галкин, Лев Квитко... Мама сказала: «Сынок, запомни эту минуту — ты познакомился с цветом еврейской литературы». Все они проходили после войны по делу Еврейского антифашистского комитета и были расстреляны (кроме Галкина) в 1952 г. Я не знаю, какие общие точки были у отца с этими людьми. К сожалению, эта сцена всплыла в моей памяти, когда я писал статью к 100-летию отца и когда спросить было уже не у кого...■

# Новости науки

## Астрофизика

### Планеты без звезд

Сейчас астрономы уже не сомневаются, что звезды рождаются в межзвездных облаках в результате их фрагментации и коллапса образующихся при этом плотных газовых сгустков. Но звезды представляют собой лишь видимую (за счет собственного свечения) часть Галактики, а невидимая — это сколлапсировавшие маломассивные сгустки, температура которых слишком низка для инициации термоядерных реакций.

Английские астрономы Ф.Лукас (Ph.Lucas; Хертфордширский университет) и П.Роше (P.Roche; Оксфордский университет) считают, что некоторые из таких «неудавшихся» звезд могут оказаться совершенно неотличимы от планет-гигантов. В 2000 г. они сообщили, что в Большой Туманности Ориона (БТО) им удалось обнаружить 13 «одиночных планет», массы которых, судя по их крайне низкой яркости, лишь в несколько раз превышают массу Юпитера. Это утверждение не встретило в научной среде единодушной поддержки. Малая светимость делает эти объекты крайне сложными для изучения, поэтому их легко спутать с далекими звездами, не имеющими к БТО никакого отношения, или со старыми остывшими коричневыми карликами гораздо большей массы.

Чтобы подтвердить свое открытие, Лукас и Роше предприняли новое «наступление» на БТО<sup>1</sup>. На прошедшей в апреле 2001 г. Национальной астрономической

конференции Великобритании они сообщили о спектроскопических и фотометрических исследованиях субзвездных объектов в БТО с помощью британского инфракрасного телескопа UKIRT (Гавайские о-ва, США). В спектрах 20 объектов обнаружены признаки молекул водяного пара, которые не могут существовать в горячих атмосферах «настоящих» звезд, и, стало быть, это именно коричневые карлики, а не далекие звезды. Доказать, что обнаруженные объекты являются молодыми, т.е. еще не успевшими остыть карликами малой массы, а не старыми холодными массивными карликами, удалось, построив модели их атмосферы и сравнив результаты моделирования с данными спектральных наблюдений.

Итак, в БТО имеются тела, внешне очень похожие на планеты-гиганты, но в отличие от них существующие вне планетных систем. Означает ли это, что планеты могут образовываться и самостоятельно? Большинство ученых, включая и авторов работы, считают, что называть эти тела планетами все-таки нельзя. Лукас и Роше предлагают сохранить название «планета» за объектами, образующимися в газовой-пылевой дисках вокруг молодых звезд, а открытые ими объекты окрестить планета-рами. Однако комитет Международного астрономического союза предложил для них не столь романтичное, хотя и более последовательное наименование — коричневые субкарлики.

© Д.З.Вибе,

кандидат физико-математических наук  
Москва

## Астрономия

### В космосе — очередная странность

К началу 2001 г. уже было известно около 50 случаев, когда вокруг звезды того же типа, что и Солнце, обращается планета. Однако два последних подобных открытия, о которых было сообщено на конференции Американского астрономического общества (Сан-Диего, январь 2001 г.), все же можно отнести к числу необычных.

Дж.Марси (J.Marcy; Университет штата Калифорния в Беркли) доложил о результатах изучения окрестностей карликовой звезды Глизе 876, находящейся в 15 св. годах от нас, в созвездии Водолея. Здесь обнаружили сразу две неизвестные до сих пор планеты, движущиеся в резонансе: за время, пока одна планета совершает на внутренней орбите два оборота вокруг звезды, внешняя делает точно один. Подтверждающие этот факт вычисления провел специалист по компьютерному моделированию Х.Левисон (H.Levison; Юго-Западный исследовательский институт в Боулдере).

Подобный резонанс в космосе не такая уж редкость; он встречается и в Солнечной системе: так, Плутон с Нептуном находятся в резонансе 3:2, а периоды трех из четырех крупнейших («галилеевых») спутников Юпитера относятся как 4:2:1.

Важное отличие системы Глизе 876 состоит в том, что вся она живет на грани стабильности. Вычисления, предпринятые Дж.Лиссауэром (J.Lissauer; Исследовательский центр им.Эймса НАСА) показывают, что даже незначи-

<sup>1</sup> Lucas P.W., Roche P.F., Allard F., Hauschildt P.H. // Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 2001. V.326. №2. P.695.



тельное изменение масс и орбит этих небесных тел немедленно приведет к распаду системы: одна из планет или «вылетит вон» в космическое пространство, или же врежется в свою звезду. Столь слабая степень стабильности говорит о том, что когда-то система пережила непростые времена. По мнению астронома-теоретика Д.Лина (D.Lin; Калифорнийский университет в Санта-Крус), в системе Глизе 876 некогда было больше планет, чем теперь, и они обращались вокруг звезды по более удаленным от нее орбитам. Но постепенно гравитационные взаимодействия с газовым диском, из которого они образовались, заставляли часть планет спиралеобразно смещаться к центру системы, а часть — все больше удаляться от него. В результате там остались лишь две из них, вошедшие в резонанс, их мы ныне и наблюдаем.

Еще больший интерес вызвал доклад П.Батлера (P.Butler; Институт Карнеги в Вашингтоне), сообщившего о результатах исследования области, которая находится в 123 св. годах от нас, около солнцеподобной звезды HD 168443 в созвездии Змеи. В этой системе, содержащей минимум две планеты, обнаружена гигантская газовая планета с огромной массой, по меньшей мере в 17 раз превышающей Юпитер (до сих пор «рекордсменом» считалась открытая Марси с коллегами в 1998 г. планета, масса которой «всего» в 7.7 раз больше, чем у Юпитера). Средняя ее удаленность от центральной звезды — 45 млн км, на один оборот вокруг нее уходит 58 земных суток. Новооткрытый гигант завершает один полный оборот по орбите, отстоящей от звезды на 410 млн км, за 4.8 земных года. Обычной планетой этот объект считаться не может. Общеизвестно, что планеты образуются в газово-пылевом диске, вращающемся вокруг новорожденной звезды. Согласно вычислениям, они не должны более чем в 8—10 раз превышать массу Юпитера до того момента, пока полностью не расчистят окружающее их пространство от частиц и газов.

Более крупные тела могут формироваться вне диска; как только их масса превысит примерно 13 юпитерианских, их ядро приобретет такую плотность и температуру, что входящий в состав небесного тела дейтерий возгорится и тело превратится в коричневый карлик, т.е. в несостоявшуюся звезду. Однако к новооткрытому гиганту все это, по-видимому, не относится. Считается, что коричневые карлики образуются непосредственно из облаков межзвездного газа и не могут оказаться в столь близком соседстве с другой звездой. Более того, вторая планета в системе HD 168443 возникла, вероятно, обычным способом — в пределах диска и из его частиц. Как могли столь различно протекать оба процесса — остается неясным.

Science. 2001. V.291. №5503. P.440 (США).

## Физика

### Новое измерение аномального магнитного момента мюона

Недавно были опубликованы результаты новых, более точных измерений аномального магнитного момента ( $a_\mu$ ) мюона<sup>1</sup>. (Напомним, что у частиц со спином  $1/2$ , помимо нормального магнитного момента, непосредственно связанного со спином, есть аномальная часть, порождаемая различными квантово-полевыми поправками.) Относительную ошибку измерений  $a_\mu$  мюона удалось уменьшить более чем в три раза по сравнению с прежним результатом — она составила 1 ppm, т.е. одну миллионную долю от полного значения.

Полученные данные сразу же привлекли внимание специалистов по физике элементарных частиц, поскольку измеренное (при достигнутом уровне погрешности) значение  $a_\mu$  мюона несколько отклонялось от теоретически рассчитанного в рамках так называемой Стандартной модели (СМ). Это могло свидетельствовать о том, что мы имеем дело с прояв-

лением новой физики, в частности указывать на существование гипотетических суперсимметричных частиц<sup>1</sup>.

Измерения  $a_\mu$  мюона были выполнены в Брукхейвенской национальной лаборатории США (эксперимент E 821) международным коллективом, включающим физиков США, Германии, Японии и России. Использовались поляризованные положительные мюоны с энергией ~3 ГэВ, инжектированные в накопительное кольцо диаметром 14.2 м и с рабочим магнитным полем 1.45 Тл.

Магнитный момент мюона прецессирует относительно направления магнитного поля. Измеряя скорость прецессии магнитного момента, можно определить значение его аномальной части. Для этого регистрировался временной ход распада положительных мюонов, вращающихся в накопительном кольце, на позитроны. Направления вылета последних заметно коррелируют с направлением спина мюона в момент его распада и поэтому несут информацию о мгновенном положении его магнитного момента. Благодаря этому появляется информация и о прецессии момента. На практике временной ход распада представляется осциллирующей кривой; сведения о значении  $a_\mu$  мюона извлекаются из величины периода осцилляции.

Подобного типа измерения в эксперименте E 821 производились и ранее, но на этот раз они были выполнены с гораздо более богатой статистикой (число событий возросло в 20 раз), что и позволило снизить погрешность. Новая степень точности радикально изменила физическую значимость результата. Дело в том, что теоретические расчеты величины  $a_\mu$  мюона, проводимые в рамках СМ, имеют оцениваемую погрешность лучше чем 1 ppm. В то же время ряд взаимодействий, не описываемых СМ, дают относительные вклады в  $a_\mu$  мюона на уровне

<sup>1</sup> Подробно о суперсимметричных частицах см.: Казаков Д.И. Ждем новых открытий в физике элементарных частиц! // Природа. 1999. №9. С.14—25.

1 ppm, что открывает возможность их выделения и анализа.

На достигнутом уровне точности возникло расхождение (в 2.6 стандартных отклонений) между измеренной и расчетной (СМ) величинами  $a_\mu$  мюона. Одна из возможных причин этого может быть связана с дополнительным вкладом в значение  $a_\mu$  мюона, обусловленного, в частности, существованием суперсимметричных частиц (скалярного мюона, нейтралино и т.д.). Важно отметить, что данное утверждение справедливо именно для мюона: вклад суперсимметричных частиц в  $a_\mu$  мюона по сравнению с подобным вкладом в  $a_e$  электрона усилен в меру квадрата отношения их масс, т.е. в  $4 \cdot 10^4$  раз.

Последнее обстоятельство подогревает интерес к максимально точному измерению значения  $a_\mu$  мюона. Если считать упомянутые расхождения экспериментальных данных и теоретических расчетов физически достоверными, то можно сделать заключение, что массы наиболее легких суперсимметричных частиц не превышают  $400 \text{ ГэВ}/c^2$ .

В ближайшее время авторы эксперимента обещают уменьшить погрешность измерений еще примерно в два раза. Это означает,

что гипотеза о существовании суперсимметричных частиц вскоре будет подтверждена на новом уровне точности или же ниспровергнута.

© А.А.Комар,

доктор физико-математических наук  
Москва

## Техника

### Углеродные нанотрубки в рентгеновском аппарате

При помещении углеродной нанотрубки в электрическое поле его напряженность многократно возрастает в окрестности ее тонкого кончика. Благодаря эффекту такого усиления автоэлектронная эмиссия нанотрубчатого катода происходит при относительно низком приложенном напряжении (0.5—1 кВ вместо 10—20 кВ, характерных для термоэлектронных катодов). Нанотрубки уже нашли применение в плоских экранах мониторов с малыми поперечными размерами и пониженным потреблением энергии<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> См.: Дьячков П.Н. Углеродные нанотрубки — материал для компьютеров XXI века // Природа. 2000. №11. С.23—32.

Недавно в Технологическом университете г.Нагоя (Япония) была сконструирована рентгеновская трубка с углеродным нанотрубчатым катодом. В отличие от термоэлектронных катодов он не требует подогрева, что облегчает создание компактных переносных излучателей. Другое важное преимущество в том, что углерод значительно стабильнее в химическом отношении, чем традиционно используемый вольфрам. Из-за этого разрушающее действие химически активных остаточных молекул  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{O}_2$  ослаблено, и нанотрубчатый катод способен продолжительно работать в умеренном вакууме.

Эксперименты проводили в камере, оснащенной бериллиевым окном для прохождения рентгеновских лучей, при токе пучка 1.5 мкА и давлении  $2 \cdot 10^{-7}$  Торр. Ток пучка регулировали изменением напряжения, подаваемого на контрэлектрод. Плотность нанотрубок на эмиттирующей поверхности катода составляла  $6 \cdot 10^7 \text{ мм}^{-2}$ .

Работоспособность трубки была проверена на двух объектах: большой интегральной схеме и свежесорванном листе дерева. Рентгенографию двух чипов проводили при ускоряющем напряжении 60 кВ одновременно новой

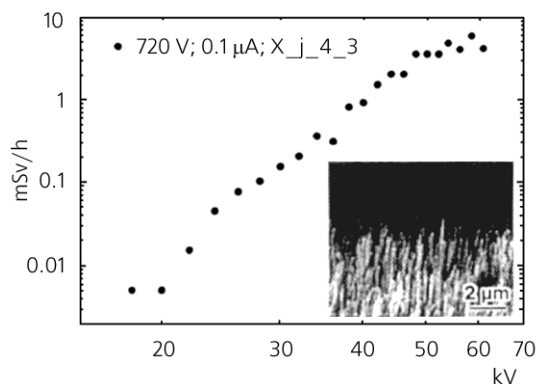
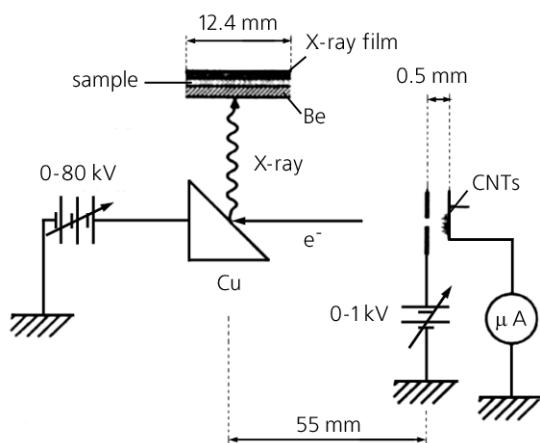


Схема проведения рентгенографии. Слева: пучок автоэлектронов ( $e^-$ ) из нанотрубчатого катода (CNTs) ускоряется электрическим полем мишени (Cu) и падает на нее. В результате торможения электронов образуется поток рентгеновских лучей (X-ray), выходящий из вакуумной камеры через бериллиевое окно (Be) наружу. Теневое изображение образца (sample) фиксируется на рентгеновской пленке (X-ray film). Справа: результат дозиметрии излучения счетчиком Гейгера—Мюллера, установленным за бериллиевым окном, при различных ускоряющих напряжениях. По оси абсцисс — напряжение мишени; по оси ординат — интенсивность излучения. На вставке: изображение нанотрубчатого катода, полученное в сканирующем электронном микроскопе.

трубкой и обычной, с горячим катодом. Качество изображения интегральной схемы, полученного с помощью нового нанотрубчатого катода, заметно выше, чем при использовании обычной трубки, что разработчики объясняют более однородным энергетическим спектром автоэлектронов, эмитируемых нанотрубками. На снимках, полученных с новым излучателем, хорошо просматривались золотые вводы диаметром 30 мкм, а на обычной рентгенограмме их практически не было видно.

Во втором испытании была получена рентгенограмма листа, только что снятого с дерева. Экспозиция заняла 1 ч при ускоряющем напряжении 10 кВ. На изображении отчетливо фиксировались сосудики, по которым лист снабжается питанием.

Разработчики видят пути улучшения излучателя и надеются, что с применением углеродных нанотрубчатых катодов рентгеновская радиография поднимется на новый уровень.

Applied Physics Letters. 2001. V.78. P.2578; <http://perst.isssp.kiae.ru/inform/p110/indx.html>

## Организация науки

### К унификации высшего образования

В мае 2001 г. в Праге состоялась конференция европейских министров высшего образования. Главный ее итог — решение создать к 2010 г. так называемый Европейский район высшего образования, в рамках которого проводить реформы, нацеленные на сближение университетских систем во всех странах континента.

До сих пор многие научные звания, присваиваемые в различных странах в ходе обучения и по его окончании, несопоставимы друг с другом, а свидетельства непригодны для продолжения образования или получения работы за рубежом. Эти, а также иные административные барьеры предстоит постепенно ликвидировать, разработав единую программу присвоения научных степеней. Важ-

ной задачей признано сократить или даже повернуть вспять поток специалистов, стремящихся покинуть Европу ради продолжения учебы и работы в США.

Вместе с тем на конференции прозвучали призывы к сохранению в ходе реформ «национального лица». Так, Ж.Ланг (J.Lang; Франция) настаивал на том, чтобы не было нарушено существующее разнообразие, особенно в языковой области и программах обучения. Другие выступавшие защищали ныне практикуемый в Европе порядок обучения в областях медицины, инженерного дела и юстиции, где студенты начинают специализацию непосредственно после окончания средней школы, без получения перед этим степени бакалавра. Против глубокого вмешательства извне в учебную программу и в независимые права университетов выступила британский министр образования Т.Блэкстоун (T.Blackstone).

Следующая конференция европейских министров высшего образования будет проводиться весной 2003 г. в Берлине.

Science. 2001. V.292. №5521. P.1465 (США).

## Зоопсихология

### Учись, глядя на маму

Ученые под руководством Т.Мацудзавы (T.Matsuzawa; Институт изучения приматов при Киотском университете, Япония) обучили самку шимпанзе по кличке Аи нескольким десяткам знаков кандзи — одной из форм японской письменности<sup>1</sup>. В апреле 2000 г. у нее родился детеныш, которого назвали Аюму.

Еще в младенчестве он внимательно наблюдал, как мать учится пользоваться компьютером: на экране при касании возникали определенные изображения или цвета, и за правильно выполненную задачу Аи давали вознаграждение. Кроме того, для получения лакомства она научилась осмысленно

<sup>1</sup> См. также: Обезьяна-скульптор // Природа. 1998. №5. С.112; Обезьяны-математики // Там же. 1999. №6. С.107—108.

опускать заработанные монетки в щель установленного в вольере автомата.

И вот когда Аюму было всего 10 мес, он внезапно подскочил к монитору и ткнул пальцем в белый квадрат, с которого начинался каждый сеанс занятий матери. На экране появились два цветных квадрата — розовый и коричневый — и знак кандзи, обозначающий коричневый цвет. Каково же было изумление ученых, когда детеныш дотронулся именно до нужного квадрата (до которого, кстати, было нелегко дотянуться), после чего с явным удовлетворением схватил заслуженную монетку.

По словам Мацудзавы, исследователи предполагали, что Аюму когда-нибудь начнет играть с компьютером, но не ожидали, что он сделает это так рано и сразу правильно.

Science. 2001. V.292. №5515. P.205 (США).

## Генетика

### Где начиналось скотоводство?

Где впервые был одомашнен крупный рогатый скот? В настоящее время известно по меньшей мере семь географических областей, где люди впервые перешли от собирательства и охоты к земледелию и скотоводству: Ближний Восток, Мексика и другие районы Южной Америки, юг Северной Америки, а также Юго-Восточная Азия. Эта воистину великая революция в истории человечества происходила в указанных регионах независимо 10—5 тыс. лет назад. Современные методы исследований позволяют внести в эту картину существенные уточнения. Заполнить некоторые из пробелов взялась группа специалистов во главе с генетиком Д.Бредли (D.Bradley; Колледж св.Троицы, Дублин, Ирландия) и биологом-антропологом Э.Чемберленом (A.Chemberlain; Шеффилдский университет, Великобритания). Ученые сравнили образцы митохондриальной ДНК (мтДНК) 392

<sup>1</sup> См. также: Где и когда приручали лошадь? // Природа. 2001. №9. С.83.



современных представителей крупного рогатого скота из разных мест Европы, Африки и с Ближнего Востока. Выяснилось, что европейские коровы — родственники ближневосточных. По мнению исследователей, домашние животные появились в Европе вместе с людьми, пришедшими сюда с Ближнего Востока.

Чтобы подтвердить такое заключение, в местных краеведческих музеях Великобритании ученые взяли на анализ остатки диких парнокопытных, когда-то обитавших на этой территории. Если европейцы не занимались их одомашниванием, то дикие животные должны генетически отличаться от современных домашних. Наиболее убедительными оказались результаты исследования остатков четырех диких буйволов, живших на территории современной Англии 7500—3700 лет назад. Их мтДНК совершенно уникальна: выявлено восемь характерных мутаций, которые или очень редки, или отсутствуют у современного скота. По мнению исследователей, это веское подтверждение их гипотезы о том, что жители Северной Европы рогатый скот сами не одомашнивали.

Science. 2001. V.292. №5517. P.631 (США).

## Экология

### Новый взгляд на биоразнообразие

Одна из важнейших задач, стоящих сегодня перед экологами, — сохранить биоразнообразие. Обычно считают, что для этого необходимо выделять по возможности более крупные участки дикой природы и принимать меры против их заселения и хозяйственного использования. К иным выводам пришла международная и междисциплинарная группа специалистов во главе с биологом Э.Балмфордом (A.Balmford; Кембриджский университет, Великобритания). Объектом изучения была вся сухопутная позвоночная фауна Африки к югу от Сахары. Основой для сравнений стала база данных по

популяциям, собранная за многие годы Копенгагенским зоологическим музеем, а для изучения роли антропогенного фактора — переписи населения во всех странах (ранее — колониях) данного региона. Исследователи проанализировали распространение 1921 вида птиц, 940 видов млекопитающих, 406 — змей, 63 — земноводных и пришли к парадоксальному выводу: районы, изобилующие различными видами, нередко более плотно заселены людьми!

Можно предположить, что такой характер сохранения биоразнообразия свойствен не только Африке. Консультант Всемирного банка, специалист по природе тропиков, Т.Лавджой (T.Lovejoy) указывает, что результаты исследования говорят в поддержку таких международных проектов, как «Центральноамериканский биологический коридор». Этот проект предусматривает взаимовыгодное сосуществование строго охраняемых местностей и промышленно используемых территорий, владельцам которых вменяется в обязанность поддержание распространяемых на них популяций животных и растений.

Все это еще раз говорит о насущной необходимости плодотворного диалога между экономистами и промышленниками, с одной стороны, и экологами — с другой.

Science. 2001. V.291. №5513. P.2529 (США).

## Охрана природы

### Судьба лесов Индонезии

Леса занимают более 70% площади Индонезии; 20 лет назад был принят план разумного пользования лесными богатствами страны, предусматривавший их защиту на водоразделах и других важных для сохранения природы участках. К сожалению, практически он не выполнялся. Еще в 1960—1970 гг. правительство предоставило обширные лесные территории в разработку богатым отечественным кланам и крупным зарубежным компаниям — и началась сплош-

ная вырубка. Позже право распоряжаться оставшимися богатствами получили местные органы власти. Мало того, природу губят банды нелегальных лесорубов, а все попытки противодействовать им натываются на угрозы со стороны браконьеров, которых нередко поддерживают коррумпированные представители местной власти и армейские силы, получающие от бандитов значительные суммы.

И вот результат. В течение всего лишь второй половины 2000 г. национальный парк «Керинчи-Семблат» (о.Суматра) оказался в кольце вырубки. Под угрозой находится уникальная фауна, включающая редчайших суматранских носорогов и тигров, азиатских слонов. В плачевном состоянии оказались и другие заповедные территории.

Проблему в течение 10 лет изучала международная группа специалистов во главе с П.Джепсоном (P.Jarson; Оксфордский университет, Великобритания) и пришла к выводу: при сохранении нынешней анархии богатейшие леса на о.Суматра будут полностью уничтожены к 2005 г., на о.Калимантан — к 2010-му, а низменные леса национального парка «Керинчи» перестанут существовать уже через три года. Кроме того, бесконтрольная вырубка резко увеличивает опасные последствия лесных пожаров<sup>1</sup> и наводнений.

Эксперты считают, что запрет на вывоз древесины из страны — не выход из создавшегося положения: он вызвал бы крупные социальные беспорядки. Более реально введение эффективного контроля за соблюдением статуса хотя бы национальных парков. Необходимо также разъяснительные работы, показывающие местному населению, насколько опасна для него нынешняя практика. В ряде случаев опорой правительства могут стать концессионеры, не заинтересованные в превращении арендованных территорий в голую пустыню.

Science. 2001. V.292. №5518. P.859 (США).

<sup>1</sup> См. также: Чем грозят индонезийские пожары // Природа. 1998. №4. С.114.

## Охрана окружающей среды

### Год после указа — период «полураспада»

В июне 2001 г. российские экологические организации (отделение Международного социально-экологического Союза, отделение Всемирного фонда дикой природы, Гринпис России, Центр охраны дикой природы, союз «За химическую безопасность» и экоцентр «Дронт») подвели итоги года, прошедшего со дня ликвидации системы государственного независимого экологического контроля.

19 мая 2000 г. в соответствии с указом президента прекратил существование Государственный комитет по охране окружающей среды — федеральное ведомство, занимавшееся охраной природы и контролем за соблюдением природоохранного законодательства. Одновременно была упразднена Федеральная служба лесного хозяйства, отвечающая за охрану российских лесов. Полномочия ликвидированных служб были переданы Министерству природных ресурсов РФ (Минприроде).

Год — срок, достаточный для подведения итогов реформы. А они, по мнению экологов, неутешительны. Свидетельством подлинного развала системы государственного экологического контроля стали цифры, приведенные в отчете о деятельности Минприроды в 2000 г. Так, количество проверок снизилось на 23,4%, выявленных нарушений — на 26,3%, устраненных нарушений — на 23,4%, лиц, привлеченных к административной ответственности, — на 21,4%. В этом нет ничего удивительного: реорганизации и сокращение штатов привели к катастрофической нехватке инспекторов — по сравнению с 1999 г. их стало меньше почти на треть, и теперь на одного инспектора приходится более 80 объектов.

В результате каждый год из-за утечек теряется 10–20 млн т нефти и 6–50 млрд м<sup>3</sup> газа. Экспорт необработанной древесины в 2000 г. превысил 32 млн м<sup>3</sup>,

при этом не менее 20% ее заготавливается с грубыми нарушениями законодательства. На территории национального парка «Югыд-Ва» (Республика Коми) не прекращают добывать золото; реанимируются схожие проекты на Камчатке. Продолжается незаконное строительство Юмагузинского водохранилища в Башкортостане, угрожающее национальному парку «Башкирия» и заповеднику «Шульган-Таш». Разрабатываются планы строительства международной автостреды на плато Укок (Алтай). Все эти действия грубо нарушают российское законодательство и международные соглашения, так как затрагивают территории, внесенные (или претендующие на включение) в список Всемирного природного и культурного наследия ЮНЕСКО.

Не менее острой остается ситуация с сохранением морских биоресурсов. Только на Дальнем Востоке объемы браконьерского лова достигают нескольких миллионов тонн в год. По мнению генерал-полковника Н.Резниченко (Федеральная пограничная служба России), из-за браконьерства страна ежегодно теряет 1,5–2 млрд амер. долл.

К сожалению, властные структуры реальным действиям предпочитают формальные мероприятия. К примеру, при непосредственном участии администрации президента создан «Экологический форум России» — общественное движение, призванное разработать экологическую доктрину России и стратегию устойчивого развития. Но ведь такая доктрина уже существует<sup>1</sup>! Ее разработали российские экологические организации; документ широко обсуждается и получает положительные отзывы со стороны как государственных структур, так и научной общественности. Однако очевидно, что пока не будет восстановлен независимый государственный экологический контроль, заложенные в доктрине принципы реализованы быть не могут.

© Е.Е.Жукова  
Москва

<sup>1</sup> Подробнее см.: [www.wwf.ru](http://www.wwf.ru); [www.seu.ru](http://www.seu.ru)

## Геотектоника

### Деформации коры в районе Коринфского залива

Бассейн Эгейского моря — одна из наиболее сейсмичных областей Европы. В этом районе, испытывающем сильное растяжение земной коры, находятся три крупных разлома: Коринфский рифт, Северо-Эгейский желоб и Эвбейский грабен (глыба земной коры, ограниченная тектоническими разрывами и опущенная по ним относительно соседних участков).

Регион претерпевает сильную деформацию вследствие отдаленного воздействия многомиллионного столкновения Индостанского субконтинента с массивом Евразии. С этим же связан активный Северо-Анатолийский разлом в Турции, который своей северо-западной частью выходит в Эгейское море. В известной мере сюда можно отнести зону столкновения Африканского материка с Евразией: здесь одна из плит земной коры погружается под другую и формируется Эллинская островная дуга.

Геодезические исследования в Коринфском заливе указывали, что наблюдаемая деформация противоречит сейсмическим данным. Эту проблему, по-видимому, позволяют решить исследования американских геотектонистов, которые завершили обработку данных со спутников системы GPS, полученных за 1990–1995 гг.

Судя по этой информации, в западной части залива спрединг идет со скоростью 14 мм/год, а в восточной — около 10 мм/год. При этом большая часть участка коры смещается по обычному положению сбросу вдоль окраины рифта, в пределах более узко очерченной его глубинной вертикали. В прежних построениях такой специфический характер процесса деформации недооценивался.

Сползание участков коры, происходящее на малых глубинах в центре залива, а также в хрупкой или вязкой переходной зоне на больших глубинах, вследствие по-

логости поверхностного срыва, могут объяснить наблюдаемую «излишнюю» геодезическую деформацию и столь высокую сейсмичность.

Таким образом, в Коринфском заливе одновременно с образованием рифта по сбросам, которое сопровождается землетрясениями средней интенсивности, происходит его расширение «по-тихому», путем асейсмического крипа (скрытого сползания) как на поверхности, так и в недрах.

Journal of Geophysical Research. 2000. V.105. P.25605; Science. 2001. V.291. №5502. P.213 (США).

### Океанология

#### В сердце абиссального шторма

Сотрудники Техасского университета (США) проводили исследования в Мексиканском заливе с борта глубоководного обитаемого аппарата «Alvin». На относительно небольшом удалении от побережья они стали свидетелями мощнейшего шторма в абиссальной (глубина свыше 3 тыс. м) зоне океана.

Аппарат оказался во власти течений, скорость которых в 15 раз превышала среднюю для таких глубин. Кроме того, удалось наблюдать на дне серию крупных борозд — при ширине ≈30 м они имели протяженность в несколько десятков километров. Сейчас специалисты обсуждают вопрос, являются ли эти формы подводного рельефа древними, или это молодые эрозионные образования.

Подобные абиссальные течения уже известны по наблюдениям в Аргентинской котловине (Атлантический океан), однако, как отмечает М.Аран (M.Arhan; IFRMER — l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation des Mers), инструментально измерить столь мощные придонные течения удалось впервые в Мексиканском заливе. Теперь предстоит выяснить причины возникновения абиссальных штормов.

Sciences et Avenir. 2001. №647. P.21 (Франция).

### Палеонтология

#### Снова о динозаврах Приамурья

Полевой сезон 2001 г. начался в середине мая, когда бригада сотрудников Амурского комплексного научно-исследовательского института ДВО РАН (АмурКНИИ) отправилась из Благовещенска на местонахождение Кундур, расположенное близ границы Амурской и Еврейской автономной областей. Для начала ей предстояло поставить полевой лагерь и расконсервировать раскоп. Напомним, что в этом районе остатки динозавров, захороненные в верхнемеловых (маастрихтских) отложениях, были вскрыты при прокладке нового участка автомобильной

трассы Чита—Хабаровск<sup>1</sup>. С 1990 г. в Кундуре ведутся регулярные раскопки, всемерно поддерживаемые директором АмурКНИИ академиком В.Г.Моисеенко. За прошедшие годы собраны многие сотни отдельных и сочлененных костей динозавров, а с 1999 г. началась работа по выемке скелета огромного утконосого динозавра, известного под неформальным именем Ваня.

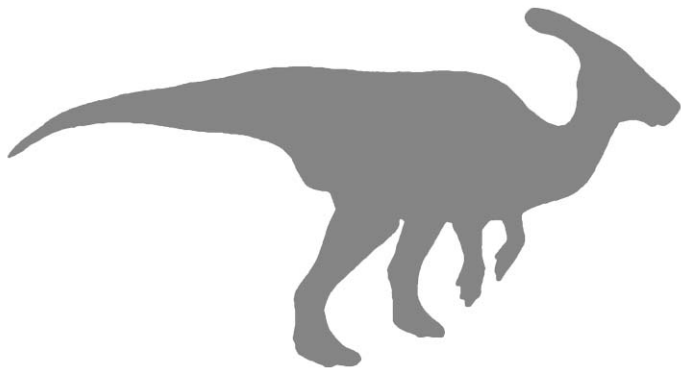
Пока в Кундуре расчищено около 100 м<sup>2</sup> местонахождения, но, по имеющимся оценкам, его общая площадь составляет несколько тысяч квадратных метров. Кундур представляется одним из богатейших в мире местонахож-

<sup>1</sup> См.: Болотский Ю.Л., Алифанов В.Р. Там, где жил амурозавр // Природа. 2001. №6. С.67—69.



Череп и шейные позвонки гадрозавра Вани перед «упаковкой» в гипсовый и деревянный чехлы.





Силуэт шлемоголового гадрозавра.

дений позднемиловых динозавров, и работы здесь имеют большие перспективы.

В новом сезоне в раскопках и изучении местонахождения участвовали палеонтологи из Королевского института естественных наук Бельгии (Брюссель), Палеонтологического института РАН (Москва), Зоологического института РАН (Санкт-Петербург) и Биолого-почвенного института ДВО РАН (Владивосток). В 2001 г. предполагалось вскрыть переднюю часть скелета гадрозавра, а также расширить площадь продуктивного горизонта для работ в следующем году, что в целом удалось выполнить. Более того, в конце сезона выявились признаки залегания второго довольно полного скелета.

Уже сейчас можно сказать, что динозавр Ваня имел на черепе ориентированный назад полый вырост. Эта деталь сразу отличает нового гадрозавра от описанного из Благовещенского местонахождения амурозавра, у которого, как считается, вырост имел куполообразную форму.

Ввиду особой ценности материала было решено для его выемки изготовить серию монолитов. Ранее полевые отряды совместной Монголо-Российской палеонтологической экспедиции применяли

эту методику во время раскопочных работ в пустыне Гоби: блок породы вместе с костями заделывается в ящик из досок и со всех сторон заливается гипсом — в таком чехле непрочные кости динозавров можно транспортировать без риска разрушения.

В сезоне 2001 г. проводились сборы остатков мелких позвоночных на поверхности, а также путем промывки породы; были осмотрены и соседние с Кундуrom флороносные местонахождения на предмет содержания в них остатков животных. В кундурском раскопе обнаружено несколько остатков (большинство из них — зубы), принадлежащих хищным динозаврам. Удалось найти надкорневую часть зубной коронки длиной 13 см, а кроме того — изолированный шейный позвонок, размеры которого позволяют утверждать: в меловой период в Приамурье обитал самый крупный плотоядный хищник за всю историю Азии. Длина кундурского чудовища, состоявшего в родстве с широко известным тиранозавром, достигала почти 15 м.

Завершив раскопки в Кундуре, специалисты приступили к препарированию и каталогизации собранных материалов. С представителями различных научных уч-

реждений достигнута договоренность о координации усилий по дальнейшему поиску и изучению ископаемых остатков.

Раскопки проводились при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 00-04-49348, 01-04-63004 и 00-15-97754).

© Е.Н.Курочкин,

доктор биологических наук

В.Р.Алифанов,

кандидат биологических наук

Палеонтологический институт РАН

Ю.Л.Болотский,

кандидат геолого-

минералогических наук

Амурский комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН

## Археология

### Прочитаны древнеримские документы

Специалисты Оксфордского университета (Великобритания) расшифровали большое число древнеримских документов, относящихся к I в. и написанных латинским прямым шрифтом — антиквой. Они были найдены в 1970 г. у стены Адриана, пересекающей Англию.

Специальные методики исследования позволили прочитать эти тексты, написанные на воощенных деревянных дощечках. Буквы, процарапанные на воске острыми палочками, оставили следы и на деревянной основе. За два тысячелетия воск исчез, но по сохранившимся царапинам удалось установить, что это были письма, контракты о найме на военную службу, торговые сделки и др. Документы проливают свет на жизнь легионеров Древнего Рима: выяснилось, например, что легионер был обязан отдавать на приобретение необходимого снаряжения 18% своего жалования.

Sciences et Avenir. 2001. №650. P.46 (Франция).

# Последний том уникального издания

В.Н.Калякин,

кандидат биологических наук

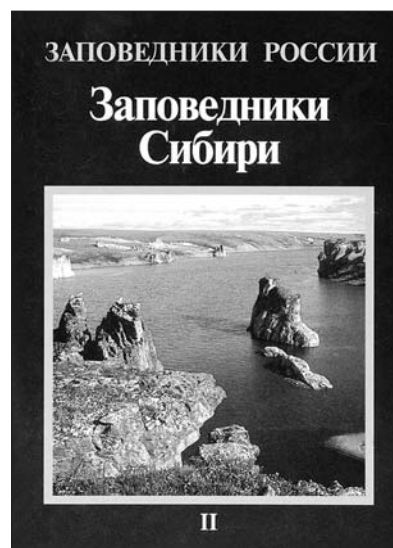
Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Двухтомником «Заповедники Сибири» завершается серия научно-художественных изданий «Заповедники России», начавшаяся в 1985 г. под названием «Заповедники СССР». Как и предшествующий, последний том богато иллюстрирован прекрасными фотографиями, для каждого сибирского заповедника приведена схема его расположения, дана справочная литература и аннотация на английском языке. Структура очерков тоже осталась прежней: общие сведения и история; физико-географические условия; растительный покров; животный мир; современное состояние экосистем; почти везде приведены отдельной главкой сведения о научных исследованиях.

Если в первый том «Заповедников Сибири» кроме очерков о них включен «Исторический обзор развития заповедной системы Сибири» Е.Е.Сыроечковского и Ф.Р.Штильмарка, то во втором эти же авторы представляют статью «Перспективы развития заповедной системы в Сибири», сопроводив ее обширным библиографическим списком. Эта публикация в книге особенно интересна с позиций будущей судьбы заповедников, причем не только сибирского региона, но и всей России.

© В.Н.Калякин

За два десятилетия, прошедших со времени выхода первого тома «Заповедников СССР», в нашей стране произошли кардинальные изменения, которые не могли не отразиться на проблемах охраны природы в целом и на заповедном деле, в частности. Это издание стало, к сожалению, своего рода надгробным памятником для некоторых эталонов природы (например, для заповедников «Барса-Кельмес» в Казахстане, «Тигровая балка» в Таджикистане и многих других), входивших в единую заповедную сеть СССР. Россию миновала подобная участь, более того, в начальный, «романтический» этап перестройки заповедная сеть продолжала развиваться, но финансовое положение пошатнулось, а затем и усугубилось. В результате нормальная работа заповедников оказалась весьма затруднена, и вряд ли положение улучшится в скором будущем. Наше правительство, похоже, не очень печется о том, чтобы разработанные за много лет принципы охраны природы продолжали действовать и впредь, да и сохранность самой природы, кажется, вышла из числа приоритетных проблем государства. Иначе, как расценить сначала преобразование природоохранного министерства в такой же комитет, а потом упразднение и этого комитета?



ЗАПОВЕДНИКИ СИБИРИ (из серии «Заповедники России»). Т.2 / Под общ. ред. Д.С.Павлова, В.Е.Соколова, Е.Е.Сыроечковского.

М.: Логос, 2000. 256 с.



Полигональные тундры на Таймыре в дельте р.Пясины (Большой Арктический заповедник).

В самые последние годы заповедная сеть почти перестала расширяться. После 1995 г. в Сибири, например, учреждены лишь Гыданский (1996) и Тигирекский (1999) заповедники да еще Хакасский (1999), причем последний образован из двух ранее существовавших. Но Гыданский заповедник может считаться таковым лишь номинально: его территория не охватывает природное разнообразие п-ова Гыдан, а из-за отсутствия средств нет ни центральной усадьбы, ни штата сотрудников\*. Его созданием закрыта возможность учредить полноценный заповедник, а следовало бы организовать даже биосферный, чтобы гарантировать сохранность природы уникального арктического полуострова и обеспечить жизнь гыданских ненцев и энцев (вымирающего

ныне народа), ведущих традиционное промыслово-олениводческое хозяйство. Гыдан, на беду местных жителей и природы, богат нефтью и газом...

На режим «вахтового» обеспечения охраны и научных исследований уже переведен старейший (дореволюционный) Баргузинский заповедник, подобная угроза нависла и над многими другими заповедниками.

Сейчас отчетливо просматривается тенденция сближения функций заповедников и национальных парков, развития «экологического туризма», который «несет прямую угрозу заповедному делу и заповедным территориям». На это указывали Сыроечковский и Штильмарк в первом томе «Заповедников Сибири». Во втором томе, в статье «Перспективы...», они не высказываются прямо о такой опасности, а, говоря о национальных парках, пишут, что «их общественная значимость, по мнению многих специалистов (ссылаясь при этом на Н.Ф.Реймерса и Ф.Р.Штильмар-

ка. — В.К.), превышает таковую заповедников, поскольку парки предназначены в первую очередь для общения людей с природой, а вторые — для изучения и строгой охраны» (с.217). Такая расстановка приоритетов не может не настораживать. Однако в конце статьи (с.226) читаем: «Другой скрытой опасностью наших заповедников является стихийная или целенаправленная их замена другими категориями особо охраняемых природных территорий. Безусловно прогрессивное учение о СИСТЕМАХ ООПТ, развитое главным образом в трудах выдающегося эколога-энциклопедиста Н.Ф.Реймерса, <...> имело свою оборотную сторону, определенным образом «понижив планку» заповедного дела. Всевозможные новомодные схемы (экологические «сети», «каркасы» и т.п.), особенно при упрощенном и неправомерном использовании термина «заповедный», в нынешней реальной ситуации не столько служат делу охраны природы, сколько создают лишь видимость благополучия, радуя глаз обывателей разнообразием и большим количеством всевозможных форм ООПТ при фактическом отсутствии подлинной заповедности и настоящих заповедников. Все чаще возникают предложения считать «заповедными категориями» не только национальные и природные парки, но даже некоторые охотничьи или лесные хозяйства».

Таким образом, налицо, прямо скажем, некая неуверенность как в будущем отечественных заповедников, так и в самом видении их главной задачи, кстати, четко нигде не обозначенной. Следует признать, что немалую лепту в размывание теоретических представлений в заповедном деле как раз и внесло «безусловно прогрессивное учение о системах ООПТ». Его создатели — Реймерс и Штильмарк — к данной широкой категории отнесли 29 наименований, а несколь-

\* Уже после выхода в свет второго тома «Заповедников Сибири» отведен участок под центральную усадьбу, но штат по-прежнему ограничивается директором заповедника и заместителем по научной работе. Правда, для инвентаризации биоты уже приглашаются разные специалисты. — *Примеч. ред.*



ко позднее Ю.А.Исаков и В.В.Криницкий зачислили в нее уже 39. Помимо государственных природных заповедников в перечень ООПТ включены не только заказники, национальные природные парки, памятники природы, но и природоохранные курортных и лечебно-оздоровительных зон, зеленые пояса вокруг городов и промышленных поселков, в том числе лесопарки, а также зоны отдыха и туризма, мемориальные объекты, леса первой группы (т.е. почво- и полезащитные леса, лесные полосы вдоль рек и вокруг других водоемов, вдоль железных и шоссейных дорог, территории орехового промысла, защитные полосы притундровых лесов, защитно-эксплуатационные леса и др.). В результате уже в 70-х годах ООПТ составляли 8% от всей площади СССР. Печально, что многое из этого перечня в 1992 г. было утверждено законодательно (Закон Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды». Раздел IX: Особо охраняемые природные территории). На основе такой «концепции» в число особо охраняемых природных территорий можно было бы включить значительную часть Новой Земли, множество военных полигонов и немало чего иного, в том числе и весьма охраняемого, но отнюдь не с природоохранными целями, и находящегося в ведении вовсе не природоохранных структур.

Ратую за максимально широкую трактовку понятия «особо охраняемая природная территория», Реймерс не посчитался с тем немаловажным обстоятельством, что большинство включаемых им в категорию ООПТ площадей юридически не имеют никакого отношения к собственно охране природы. Показательно, что и в книге «Природопользование. Словарь-справочник» (М., 1990. С.513, 514) соседствующие определения «территория природная (особо) охраняемая»



*Овцебыки. Когда-то эти животные были обычными обитателями Таймырского п-ова.*

и «территория природная (особо) охраняемая заповедно-эталонная» не только в немалой степени противоречат друг другу, но и концепции, заложенной автором, не совпадают. Первые территории используются «для сохранения *экологического равновесия*, поддержания среды жизни человечества и его *здоровья*, охраны *природных ресурсов*, ценных естественных и искусственных объектов и явлений, имеющих историческое, хозяйственное или эстетическое значение». Об использовании этих ООПТ для почво- и полезащиты, туризма и отдыха, в качестве защитных полос вдоль водоемов, шоссейных и железных дорог и т.д. здесь уже почему-то не упоминается. А вот заповедно-эталонные ООПТ предназначены прежде всего для «сохранения информации о нетронутой природе (не самой природы, а только информации о ней?! — В.К.), научных целей, слежения за общим состоянием природной среды планеты (*глобальный* и другие виды *мониторинга*) и поддержания *экологичес-*

*кого равновесия* в исключительно уязвимых местах, имеющих ключевое значение для сохранения природы крупных регионов (?! — В.К.). Сюда относятся все заповедники и резерваты с заповедным режимом». Выходит, это вовсе не высшая форма охраны природы, которую по наивности приписывают заповедникам А.Г.Банников с соавторами, В.Л.Рашек, Ф.Р.Штильмарк и многие другие исследователи.

Авторы «Перспектив...» подчеркивают, что «недолгий этап «экологического бума» конца 1980-х — начала 90-х гг. сегодня сменяется опасностью изменений основополагающих отечественных концепций заповедного дела. <...> Это может означать прямую поддержку опасного курса на «конвергенцию» заповедников и национальных парков, на допустимость разных форм туризма в заповедниках, на дальнейшее размывание нашей «заповедной идеологии», основой которой был «принцип неприкосновенности», полный отказ от всякого хозяйственного пользования в заповедниках.

<...> Сегодня, несмотря на все «смены вех», прагматические мотивы вновь одерживают верх над морально-этическими и научными. Этому очень способствует определенная «размытость» самого понятия о заповедности, сложившаяся не без участия наших юристов и некоторых экологов» (с.225).

В статье приводится много конкретных и очень ценных практических предложений по заповеданию тех или иных территорий в пределах Сибири. Но, подытоживая 10-томную серию, следовало бы наметить перспективы развития системы заповедников во всей России, а не ограничиваться только Сибирью.

Анализируя планы расширения сети заповедников в Сибири, авторы начинают обзор с зоны Арктики (с.218). Здесь рассмотрены научно обоснованные предложения по созданию заповедных участков на островах и полуостровах Северного Ледовитого океана с прилегающими акваториями, т.е. фактически речь идет об организации морских арктических заповедников. Только один автор таких предложений — В.А.Бычков — считает необходимым заповедать семь подобных участков. Однако все они по-прежнему лишь планируются. Замечу, что в обзоре «Перспективная сеть заповедных акваторий» (1988), написанном В.А.Бычковым и Т.Ю.Вишневской и, к сожалению, даже не упомянутом авторами «Перспектив...», приводится очень много хорошо аргументированных предложений по созданию морских и прибрежно-морских заповедников.

Несмотря на огромную протяженность морских побережий, у нас созданы всего лишь

Дальневосточный морской заповедник в заливе Петра Великого (1978) и Большой Арктический заповедник (1993), который охватывает северное побережье Таймыра и прилегающие водные пространства с мелкими островами. Подобные заповедники крайне необходимы в силу того, что многие наши морские акватории и морские экосистемы требуют неотложной и активной «экологической реанимации», ведь большая часть видов крупных морских млекопитающих находится в критическом или даже катастрофическом состоянии: хотя их промысел прекращен довольно давно, пока это не дало сколько-нибудь ощутимых результатов в восстановлении их исходной численности.

Рецензируемой книгой, как уже сказано, завершается не только двухтомник «Заповедники Сибири», но и вся серия «Заповедники России». К сожалению, чего-либо обобщающего эту серию книга не содержит. В ней приведен лишь перечень 70 заповедников, вошедших в серию, и дано предельно краткое описание 28 заповедных территорий, которые в ней не представлены. Информация о них занимает только шесть страниц (233—238), а следовало бы привести полноценные очерки. И по этой причине надо бы продлить серию выпуском одной-двух дополнительных книг и обсудить многое из того, чему сейчас совсем не уделено внимания или сказано весьма кратко.

Например, следует рассмотреть, достаточен ли в заповедном деле зонально-географический подход. Может быть, для формирования заповедной

сети более приемлема структурно-генетическая основа? К сожалению, до сих пор неясно, какими должны быть оптимальные или хотя бы минимально-репрезентативные площади эталонов природы, создаваемых в разных географических зонах. Не следует ли принять во внимание разработанные многими исследователями биологические и биогеографические принципы выделения заповедных территорий на основе естественных хронологических (пространственных) единиц биосферы — от биогеоценозов до комплекса «речной бассейн — суцессионная система». Такой подход позволил бы определить и площадь конкретного заповедника, и даже его конфигурацию, чтобы максимально охватить все биоразнообразие, свойственное той или иной единице биосферы. Для успешного сохранения экосистем (а если возможно, то и восстановления деградированных) необходимы четкие, научно обоснованные ориентиры: данные об исходных ареалах животных и растений, видовом составе фауны и флоры, структуре биогеоценозов. И наконец, нужно более развернуто осветить очень насущную проблему — совмещение интересов охраны природы с интересами коренных народов Севера и Сибири.

10-томная серия о заповедниках России — итог более чем 20-летней работы большого коллектива авторов и редакторов. Это издание не имеет аналогов в мировой научно-практической литературе, оно на многие годы станет ценнейшим руководством по заповедникам, созданным в XX в. на огромной территории нашей страны. ■

## Химия. Экология

**В.В.Худoley, Г.А.Ливанов и др.**  
ДИОКСИНОВАЯ ОПАСНОСТЬ  
В ГОРОДЕ. СПб.: Научный центр  
независимых экологических экс-  
пертиз, 2000. 173 с.

Актуальной проблемой современности стало загрязнение окружающей среды диоксинами — полихлорированными химическими токсикантами, чья опасность стоит в одном ряду с радиоактивным загрязнением.

За последние полвека диоксины во все возрастающих количествах производятся человеком, выбрасываются в окружающую среду и там накапливаются. Они вызывают целый спектр заболеваний иммунной, репродуктивной, эндокринной систем, рак, врожденные уродства, поражения кожи и пищевого тракта (см.: «Природа». 2000. №2).

Диоксиновые соединения синтезируют для сугубо научных целей, но они самообразуются в виде примесей на предприятиях химической промышленности. Например, поливинилхлориды возникают в производстве при отбеливании целлюлозы, сжигании муниципальных отходов, из осадков городских сточных вод, в выхлопах автомобильного транспорта. Источником серьезного загрязнения становятся промышленные аварии, а также интенсивное использование хлорсодержащих химических веществ в военных целях.

В книге раскрывается история диоксиновой проблемы. Оцениваются химические составляющие диоксинов, содержание их в пище, а также говорится о самих источниках загрязнения в воде и почве, воздухе и растениях. Описываются механизмы воздействия диоксинов и, главное, — масштабы опасности в условиях крупных городов.

## Геоурбанистика

**Ю.Л.Пивоваров.** ОСНОВЫ ГЕО-  
УРБАНИСТИКИ: Урбанизация  
и городские системы. М.: Гумани-  
тарный издательский центр ВЛА-  
ДОС, 1999. 232 с.

Геоурбанистика — научная дисциплина, изучающая пространственную организацию (в первую очередь планировку), эволюцию и функционирование городских систем на базе углубления процесса урбанизации. Согласно концепции известного греческого урбаниста Константина Доксиадиса, диапазон городских систем очень велик — от небольшого поселения до огромного мегаполиса и еще более масштабных макрорегиональных систем.

Курс по геоурбанистике занимает ныне прочное место в учебных планах на географических факультетах университетов, став составной частью классической географии городов. Его основная концепция связана с новой трактовкой урбанистической эволюции России.

Цель книги — дать вариант стабильного курса основ геоурбанистики, уточнив современную трактовку самого понятия и предложив круг первоочередных тем. Автор попытался перейти от традиционного описательно-справочного изложения к концептуальному системно-аналитическому, в большей мере отвечающему требованиям XXI в.

## Археология. Антропология

**НОМО SUNGIRENSIS.** Верхнепалеолитический человек: экологические и эволюционные аспекты исследования / Отв. ред. Т.И.Алексева и Н.О.Бадер. М.: Научный мир, 2000. 468 с.

Верхнепалеолитическая стоянка Сунгирь находится на вос-

точной окраине г.Владимира, в 192 км от Москвы. Поселение расположено на левом берегу р.Клязьмы, при впадении в нее ручья Сунгирь. Открыто в 1955 г. в глиняном карьере кирпичного завода. За 16 полевых сезонов (1957—1977) экспедиция под руководством О.Н.Бадера довела площадь раскопа до 4500 м<sup>2</sup>.

Это одна из наиболее северных стоянок на Русской равнине, где сохранились останки древнейшего человека. Поселение исследуется уже более 40 лет. Мировую известность получили уникальные по богатству палеолитические погребения взрослого мужчины и двух детей с прекрасно сохранившимися элементами одежды и погребальным инвентарем.

Наиболее полное описание находок из Сунгирия вышло в свет в 1984 г. в виде сборника статей «Сунгирь. Антропологическое исследование». В нем были представлены результаты изучения черепов и скелетов.

В настоящее время границы антропологии значительно расширились. Новая работа обобщает все материалы погребений из Сунгирия. В книге приведены каталог и опись сохранившихся находок. Впервые по данным химического анализа кости реконструирована диета древнейшего человека, сделан предварительный молекулярно-генетический анализ. Опубликованы результаты всех предыдущих работ. Приводятся сведения о новых датировках поселений и погребений, о хозяйстве, культуре, образе жизни и среде обитания. Обсуждается проблема расселения древнейшего человека, его биологическая и социальная адаптация к окружающей среде.

Каждая глава книги снабжена развернутым комментарием на английском языке, подписи к таблицам и рисункам даны на двух языках.

Авторы приносят благодарность Биоантропологическому фонду (Великобритания).



# Флот окажет нравственное содействие

С.М.Игнатъев,

кандидат биологических наук

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

Хотя Каспийское море не является морем в прямом смысле слова, его традиционно рассматривают в системе южных окраинных морей России. Экономическое значение региона было очень велико, так как на него приходилось 65% отечественных рыбных промыслов. А если учесть, что в геологическом прошлом окраинные моря составляли единый бассейн, то можно понять интерес естествоиспытателей к познанию этого уникального внутриматерикового водоема.

В официальной истории гидробиологических и ихтиологических исследований Каспийского моря наблюдается четко выраженный хронологический провал, относящийся ко второй половине XIX в. Многочисленные изыскания этого периода в лучшем случае удостоены краткого упоминания [1], что объясняется извечным российским стремлением замалчивать неудачи, а именно гибелью уникальных коллекций, собранных с большим трудом и риском для жизни. Причины — как форс-мажорные обстоятельства, так и просто некомпетентность исполнителей. С другой стороны, исследования Каспийского моря всегда были тесно связаны с интересами флота, что накла-

дывало на них определенную секретность. Сложившаяся военнополитическая обстановка в этом стратегически важном для России регионе определяла не только возможность проведения изысканий, но и физическое существование самого естествоиспытателя. Из-за сменяющихся друг друга русско-турецких и русско-персидских войн XVII—XIX вв., постоянных набегов кочевых племен исследования проводились только под охраной корабельных пушек. Специальные воинские команды сопровождали экспедиции П.Палласа (1770—1773), С.Гмелина (1745—1774) и К.Бэра (1853—1856), начавших изучать жизнь Каспия. Оно тогда считалось внутренним морем России, поэтому казна имела здесь свои, специфические интересы, заключавшиеся в «довольствии чинов армии и флота» рыбной продукцией. Отсутствие серьезного морского противника фактически свело деятельность русского флота к охране рыбных, зверобойных и соляных промыслов. При Каспийской флотилии был создан специальный отряд вооруженных судов, подчиненный Астраханскому рыбному управлению и выполняющий полицейские полномочия. Исследования региона осуществлялись в рамках отдельной гидрографической съемки Кас-

пийского моря под руководством капитан-лейтенанта Н.А.Ивашинцева\*.

Биологи участвовали в этих исследованиях согласно существовавшей практике «бесплатных поездок», которая осуществлялась по договоренности между Морским министерством и научными обществами. Суть заключалась в «предоставлении стола и места на судах Морского Ведомства, отправляющихся в плавание со служебными целями». Естествоиспытатели получали также «содержание соответственно их чину», хотя многие отказывались от него, «почитая работу наилучшей наградой».

Первым исследователем планктона и бентоса в Каспийском море стал Э.И.Эйхвальд\*\*, находившийся в 1825 г. на борту

\* Ивашинцев Николай Алексеевич (1819—1871) — русский гидрограф, исследователь Каспийского моря, контр-адмирал. Возглавил гидрографическую экспедицию по исследованию Каспийского моря (1855—1871). Член Императорского Русского географического общества, с 1863 г. — председатель секции математической географии.

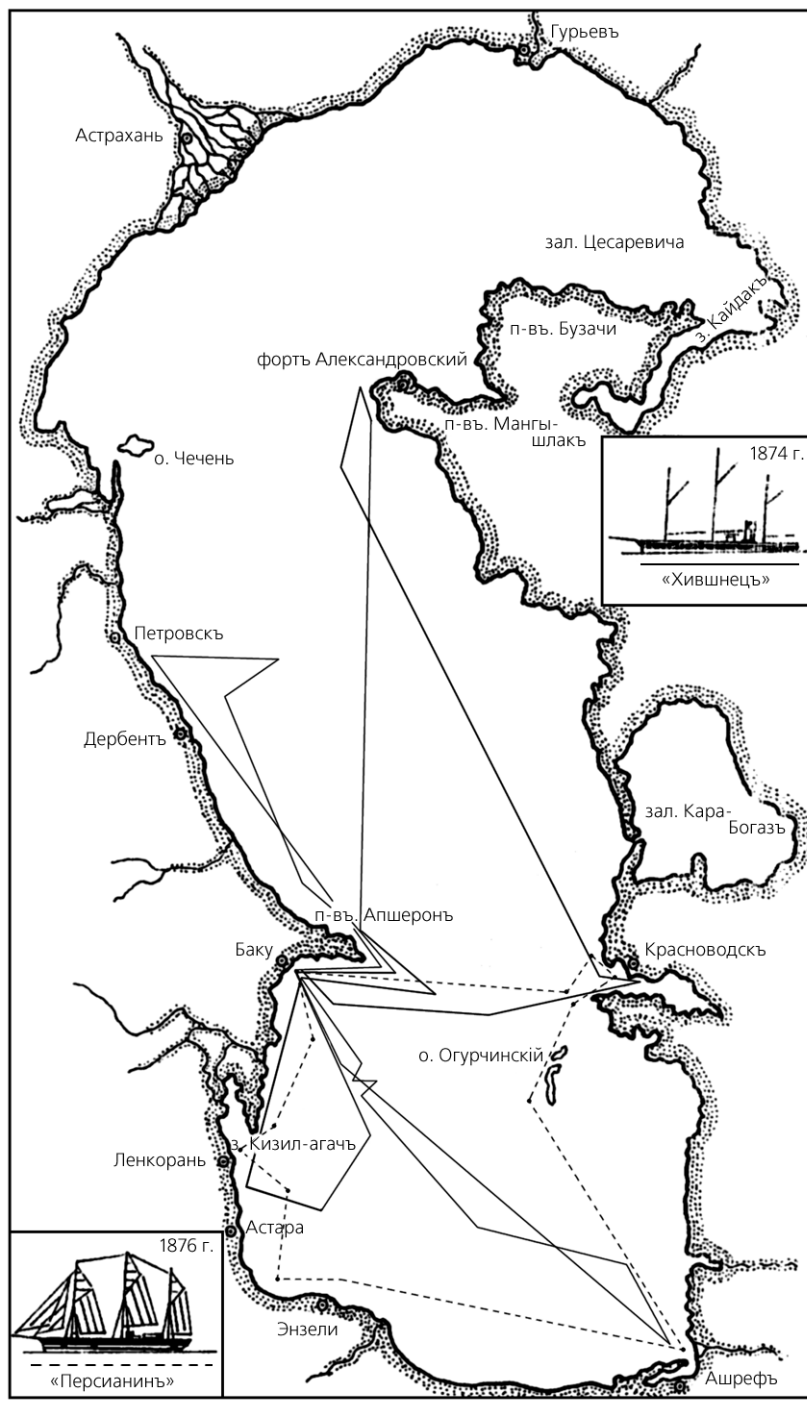
\*\* Эйхвальд Эдуард Иванович (1795—1876) — русский естествоиспытатель, член-корреспондент Императорской АН (1826), профессор Казанского университета. В 1825—1826 гг. по заданию Академии наук побывал на юге России, собирая геологические и палеонтологические коллекции. Результаты опубликовал в фундаментальном труде «Палеонтология России» (1860—1868).

казенного корвета «Геркулес». Поскольку основные усилия он направил на изучение геологического строения морского дна, результаты зоологических исследований были весьма скромными. Многие виды вообще были неправильно им определены. На этом материале Эйхвальд сделал ошибочный вывод о бедности фауны Каспийского моря. Проверить правильность его суждений не удалось, так как «из-за отсутствия надлежащего присмотра» пробы пропали. В 1853–1856 гг. на Каспий с целью изучить состояние рыболовства был командирован Карл Бэр\*, но его сборы (кроме коллекции рыб) исчезли, так и не попав в руки специалистов. К сожалению, это были не единичные случаи гибели зоологических коллекций.

14 октября 1857 г. во время шторма в Апшеронском проливе погибла паровая шхуна Каспийской флотилии «Куба» (по названию одноименного города в Азербайджане). Этот боевой корабль считался основным судном экспедиции Ивашинцева и совершал очередной исследовательский рейс. Вместе со шхуной погибли ее командир лейтенант В.Поскочин, отказавшийся покинуть корабль, участники экспедиции — лейтенанты Н.Кошкуля и В.Симонов, подпоручик А.Иванов, 18 нижних чинов, а также все результаты двухлетних изысканий. Среди навсегда утерянных материалов были астрономические и промерные журналы, дневники и записи самого Николая Алексеевича, коллекции, собранные мичманом А.Ясенским.

В 1864–1865 гг. гидробиологические исследования по личной инициативе предпринял лейтенант флота В.Ульский,

\* Бэр Карл Эрнест (1792–1876) — русский естествоиспытатель, академик Императорской АН (1829), профессор зоологии и анатомии Кенигсбергского (1819) и Дерптского (1862) университетов, Медико-хирургической академии (1841–1852). Один из основателей Русского географического общества. Основатель отечественной эмбриологии.



Маршрут «зоологической экскурсии» О.А.Гримма в Каспийское море. 1874 и 1876 гг.

один из участников промерной экспедиции Ивашинцева. Он собрал богатую коллекцию каспийских моллюсков и впервые описал равноногого рака, известного ранее только из северных морей. Но и эти сборы после смерти исследователя были утеряны для науки. В 1869 г. на Каспий по заданию академии прибыл А.О.Ковалевский\*. Он должен был принять участие в плавании на одном из пароходов Каспийской флотилии, приписанных к «промерной экспедиции», о чем была заключена предварительная договоренность. Но из-за штормов Ковалевский так и не смог выйти в открытое море и ограничился экскурсиями на наемной лодке и береговым сбором зоологических коллекций. Их предварительный анализ позволил описать 12 новых для науки видов беспозвоночных. К сожалению, сборы Ковалевского также утеряны. В 1877 г. их жалкие остатки были обнаружены О.А.Гриммом\*\*.

В мае 1873 г. Петербургское общество естествоиспытателей обратилось в Морское министерство с ходатайством об организации «зоологической экскурсии» на Каспийское море. Перед будущей экспедицией стояла цель — изучить фауну и флору неисследованных южных акваторий, а также открытых, глубоководных районов. С разрешения вел. князя Михаила Николаевича и начальника Каспийской флотилии контр-адмирала А.Свинкина естествоиспытателям (Гримму и его помощнику

\* Ковалевский Александр Онуфриевич (1840—1901) — известный русский биолог-эволюционист, основоположник сравнительной эмбриологии и физиологии беспозвоночных, один из основателей экспериментальной гистологии, академик Императорской АН (1890). Первый директор Севастопольской биологической станции.

\*\* Гримм Оскар Андреевич (1845—1920) — русский зоолог, профессор (с 1870 г.) Петербургского университета, инспектор Департамента рыболовства Министерства земледелия. Организатор гидробиологических исследований на Каспийском море (1814—1876).

И.Н.Пушину) были выделены места на военных судах, которые использовались для лоцмейстерских нужд и казенных перевозок. Это были транспорты «Хивинец» под командованием капитана 2-го ранга А.С.Эсмонта и «Персиянин» (под командованием капитана 1-го ранга Г.Ф.Шульца). Оба транспорта представляли собой трехмачтовые шхуны постройки 1857 и 1858 гг., водоизмещением 336 и 408 т, скорость не более шести узлов. Для выполнения гидробиологических работ на судах устанавливалась оригинальная паровая лебедка конструкции подполковника В.К.Шульмана. Привлекались и другие суда флотилии: шхуна «Трухмен» — в Красноводском заливе; канонерская лодка «Тюлень», паровые баркасы «Быстрый» и «Скорый» — в Астрабадском заливе. Сбор коллекций «удивительных габитусом и колоритом животных» был вменен в обязанность судовым врачам, которые получили от Гримма подробную инструкцию.

В ходе экспедиции 1874—1876 гг. было выполнено 2600 драгировок и планктонных ловов до глубин в 500 саженей (1 сажень — 0.2132 м). Зоологические исследования дали очень ценный научный материал, хотя и «были выполнены несовершенными методами» — небольшими драгами, скребками и сетями. Кроме драгирования и планктонных ловов брались «пробы воды на разных глубинах для химических и микробных опытов». Из-за отсутствия батометра использовались запечатанные бутылки из-под шампанского. Проводились также береговые зоологические экскурсии для сбора растений, насекомых и пресмыкающихся. Их обеспечивали команды вооруженных матросов или казаков на корабельных шлюпках под командованием лейтенантов В.И.Сахарова и Т.К.Радецкого. Эта мера предосторожности была крайне целесообразна, так как по всему южному побережью Каспия постоянно шли

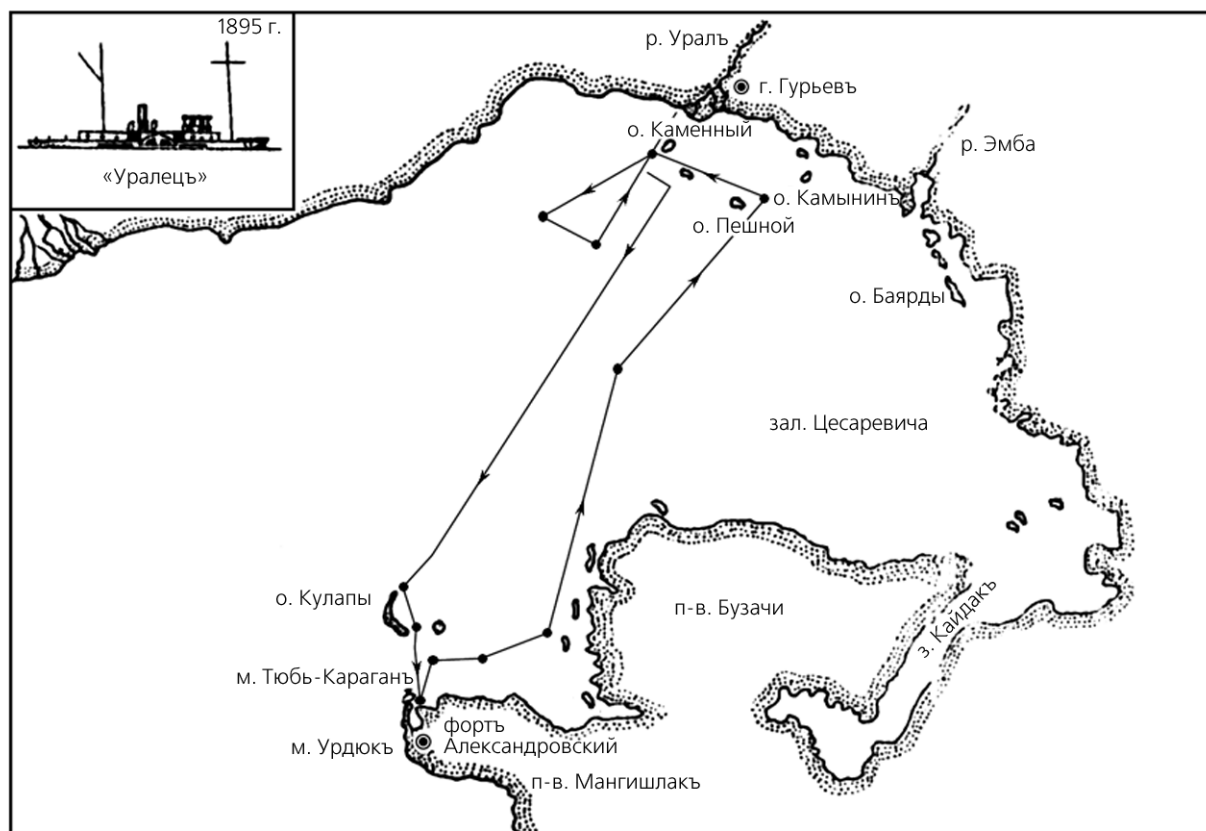
стычки персидских регулярных войск с туркменскими племенами, часто в пользу последних. Штурманский состав обоих судов проводил стандартные гидрографические наблюдения и промеры.

Результаты экспедиции позволили окончательно опровергнуть ошибочный вывод Эйхвальда о бедности видового состава животного и растительного мира Каспийского моря. Были обнаружены организмы, типичные как для северных морей, так и для Черноморско-Средиземноморского бассейна, что позволило по-новому взглянуть на прошлое региона. Более 60 видов животных, в том числе 15 видов пелагических ракообразных, описаны впервые.

Все собранные материалы были благополучно доставлены в Зоологический музей Императорской АН и переданы специалистам: Г.Сарсу — для описания ракообразных, Ковалевскому — морских беспозвоночных, А.А.Штрауху — пресмыкающихся и К.Ф.Кесслеру — рыб. Основываясь на этих сборах, Кесслер не только описал 279 видов рыб Каспийского моря (из них 76 — новых для науки), но и разработал их экологическую классификацию, выделив морские, солоновато-водные, разнородные, проходные, полупроходные и пресноводные группы.

Успеху экспедиции несомненно способствовала «образованность господ офицеров и их внимание к нуждам науки». Особенно теплые воспоминания остались у Гримма о командире «Персиянина» Шульце. Однако было много нареканий со стороны старших механиков обоих кораблей — М.П.Всеволодова («Хивинец») и Д.Ф.Федорова («Персиянин»). Частые остановки машин для биологических сборов «вели к их выходу из строя и изнурению машинных команд». С аналогичными проблемами в дальнейшем сталкивались все ученые, работавшие на военных судах. Опыт каспийских экспедиций 1874—1876 гг.





Маршрут «экскурсии» в северную часть Каспийского моря. 1895 г.

еще раз подтвердил, что «жизнь боевого корабля, строго регламентированная уставом, не позволяет развернуть на нем широкомасштабные исследования». Интересы естествоиспытателей теперь отходили на второй план.

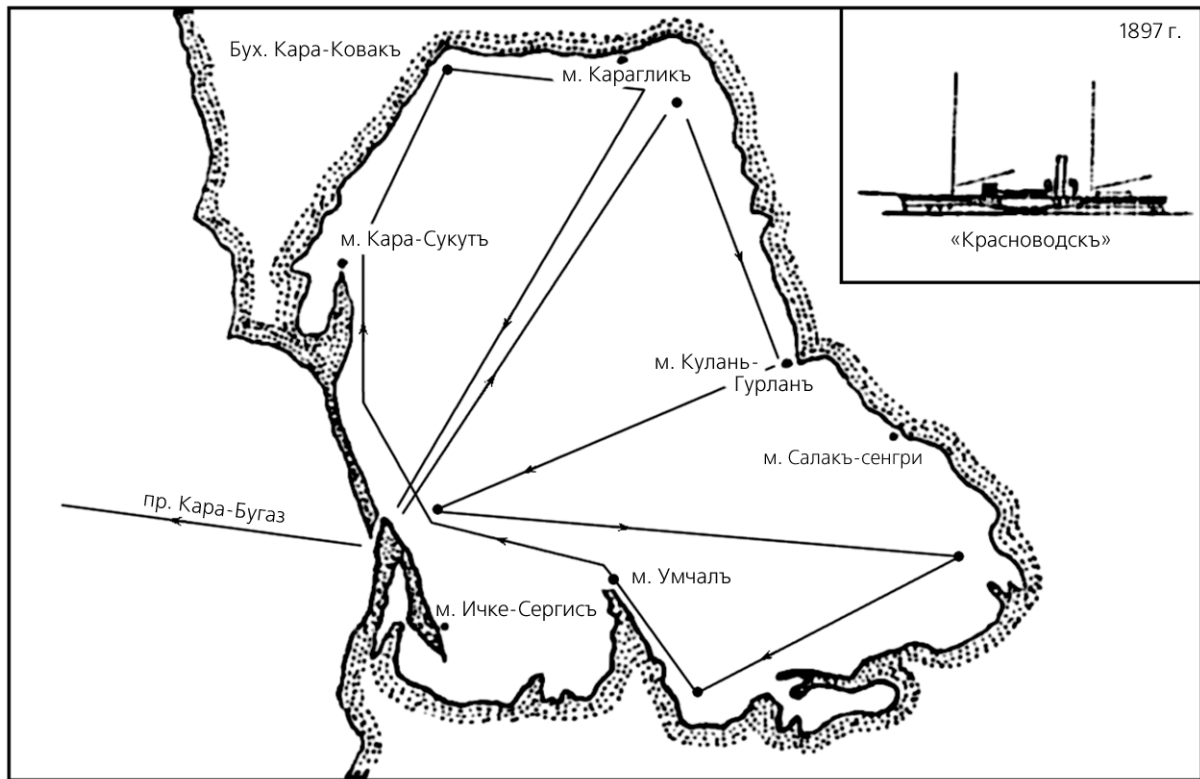
В 1893 г. Морское министерство совместно с Министерством земледелия и государственных имуществ решило провести исследования в Каспийском море. Основным районом изысканий стал малоизученный Карабугазский залив, расположенный на восточном берегу Каспия. Отделенный узким проливом и мелководным барьером, он находится ниже уровня моря. Вследствие этого наблюдается постоянный приток воды, которая, испаряясь, увеличивает концентрацию солей. Последние выпадают в осадок, откладываясь на дне и по берегам мощными пластами.

Единственная крупная экспедиция под руководством лейтенанта И.П.Жеребцова (1847—1848) на пароходе «Волга», имевшая целью сделать первую морскую опись залива, потерпела неудачу из-за порчи котлов. Удалось выполнить только береговой промер. Экспедиция впервые отметила весьма примечательный грунт залива — соль, под ней известковая глина. Анализ проб воды, проведенный профессором Санкт-Петербургского университета Г.Шмидтом, показал, что в основе солевого состава лежит глауберова ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), а не поваренная ( $\text{NaCl}$ ) соль, как считалось ранее. Но эти данные долгое время оспаривались.

Морское министерство взяло на себя снаряжение одного из пароходов Каспийской флотилии и большую часть экспедиционных расходов. Участника-

ми экспедиции были полковник И.Б.Шпиндлер со своим помощником штабс-капитаном И.О.Ислямовым, заведующий Севастопольской биологической станцией А.А.Остроумов, магистр Новороссийского университета А.А.Лебединцев и приват-доцент Санкт-Петербургского и Юрьевского университетов Н.И.Андрусов.

Рекогносцировочный этап экспедиции, организованный Андрусовым в 1894 г., закончился неудачей. Казенный парусный бот под командованием П.Ф.Максимовича 23 июля 1894 г. затонул во время шторма со всем имуществом экспедиции — пришлось ограничиться только береговыми наблюдениями. В своем отчете он обратил внимание на крайнюю бедность прибрежной фауны и предпринял попытку описать геологические фазы развития залива.



Маршрут экспедиции в Карабугазский залив. 1897г.

22—30 июня 1895 г. в северной части Каспийского моря под руководством Н.А.Бородина работала экспедиция с целью «собрать материал для выяснения условий жизни в летнее время мелкой (так называемой молодой) красной рыбы в море, в каковых видах требовалось провести зоологические и гидрографические исследования» [2]. Императорская академия наук предоставила значительную часть оборудования. От Департамента земледелия было получено разрешение на лов запрещенными плавными сетями, в распоряжение экспедиции был выделен паровой крейсер войскового надзора «Уралец»\*. Им были выполнены 34 комплексные станции, которые включали измерения температуры и солености морской воды,

сбор планктона сеткой и драгировки. Впервые была предпринята попытка разработать унифицированную карточку учета. Собранные материалы поступали в Зоологический музей в Санкт-Петербурге [3].

Для экспедиции 1897 г. распоряжением Морского министерства из состава Каспийской флотилии был выделен колесный пароход «Красноводск»\*. Учитывая опыт экспедиции Жеребцова, когда котлы «Волги» из-за питания высокосоленной забортной водой вышли из строя, Шпиндлер предложил снабдить судно двумя дополнительными опреснителями. Об этом 6 декабря 1896 г. им был представлен доклад управляющему Морским министер-

ством контр-адмиралу П.П.Тыртову. По проекту Морского технического комитета два опреснителя для котлов и один для команды (производительностью шесть ведер в час) были заказаны в Санкт-Петербурге. Кроме того, предусматривалась установка дополнительных емкостей для пресной воды [4].

Выход парохода намечался на начало весны 1897 г., когда идет рыба. Но из-за установки опреснителей и доставки оборудования из Севастополя выход был задержан до конца апреля. Поэтому биолог экспедиции Остроумов отправился на Карабугаз сухим путем. Туда же прибыло вспомогательное судно экспедиции — яхта управляющего промыслами, также носившая название «Красноводск». Остроумов провел опросы местных рыбаков и наблюдения за ходом рыбы, все это легло в основу статистического отчета о состоянии рыболовства в этом

\* Речной колесный буксир, построенный в 1891 г. в Рыбинске. Использовался для охраны рыбных промыслов в Каспийском море.

\* До 3 июля 1882 г. — «Генерал Скобелев». Пароход Каспийской флотилии. Обеспечивал охрану рыбных и тюленьих промыслов. Участвовал в экспедициях Шпиндлера (1897) и Н.Книповича (1904).

регионе. Методика выполнения исследований была такой же, как и в предыдущих экспедициях. Сразу же начались проблемы с новыми опреснителями, которые вскоре вышли из строя. Во избежание засоления котлов через каждые три-шесть дней «Красноводск» вынужден был покидать район для их промывки и пополнения запасов пресной воды. Из-за этого пришлось резко сократить объем исследований (прежде всего биологических) и сделать упор на изучение физико-географических условий.

Всего с 14 мая по 17 июня 1897 г. «Красноводск» совершил четыре рейса, в которых выполнены основные промеры и описания береговой линии, определен химический состав воды — всего 100 комплексных станций. Экспедиция 1897 г. констатировала, что соленость воды в заливе достигает 200% при доминировании хлоридных и сульфидных солей; срединная часть залива имеет ничтожную глубину (семь саженей), что усиливает испарение морской воды и повышает ее соленость. Но при этом выделяется не поваренная, как считалось ранее, а глауберова соль, образующая мощные пласты с небольшой примесью гипса. Открытие на дне залива мощных (толщина слоев 30—40 м на площади 3000 км<sup>2</sup>) запасов глауберовой соли — основная заслуга экспедиции. Лебединцев высказал предположение о механизме образования этих залежей: летом из-за испарения растет концентрация солей в воде, зимой труднорастворимый сернокислый натрий выпадает на дно, где и образует мощные слои. Так как глауберова соль — важный стратегический минерал, то «обязанность русских ученых обратить серьезное внимание на эти, лежащие втуне богатства». Уже в 1899 г. Министерство земледелия и государственных имуществ приступило к выделению участков на побережье для добычи глауберки.

По результатам гидробиологических исследований Остроумова [5] дано описание крайне бедной фауны высокосоленых вод залива: только три вида моллюсков и один вид ракообразных. В то же время отмечались обильные планктонные и бентосные сборы в воде с нормальной соленостью, что свидетельствует о наличии хорошей пищи для промысловых рыб. Для улучшения последней предлагалось заселить Каспий черноморскими видами полихет и моллюсков, что и было сделано уже после революции. Для выяснения причин массовой гибели рыб проводили на борту «Красноводска» эксперименты по выявлению смертельных концентраций соленой воды для массовых видов. По мнению Остроумова, рыба, проплаваясь в залив, из-за высокой плотности воды лишается возможности плавать на глубине. Она держится на поверхности и при волнении массами выбрасывается на берег. Ущерб от этого очень велик: до тысячи штук взрослых сельдей на версту берега, и это без учета гибнущей икры.

В качестве рекомендации было предложено создать «научную станцию с небольшим, специально оборудованным пароходом, могущим совершать периодические рейсы на Карабугаз» [6]. В 1910 г. Астраханская ихтиологическая станция получила экспедиционное судно «Почин», удовлетворявшее этим требованиям. Оно было специально оборудовано для проведения гидробиологических и ихтиологических исследований в дельте Волги и на Северном Каспии.

Говоря об изысканиях Морского министерства, нельзя не упомянуть о его активной деятельности в других регионах. Речь идет об экспедиции на судне «Наездник»\* (1893) [7]. Этот

\* Клипер Балтийского флота. Строился в Санкт-Петербурге на Новом адмиралтействе в 1877—1878 гг. под руководством корабельного инженера Н. Максимова. Участвовал в исследованиях на Тихом океане и в северных морях.

боевой корабль Балтийского флота был послан в Баренцево море для защиты русских экономических интересов. В его задачу входила охрана морских промыслов и описание побережья. Работы проводились в рамках Программы глубомерных экспедиций. Биологическая часть была выполнена Книповичем, он собрал богатую коллекцию морских животных, прежде всего рыб. Результаты исследований позволили выдвинуть предположение о значительных рыбных запасах в Баренцевом море.

Глубомерные экспедиции 1890—1897 гг. положили начало зоогеографическому этапу отечественной гидробиологии [8]. Результаты экспедиций, организованных Морским министерством, способствовали укреплению престижа России, в частности ее интересов в Международном совете по изучению моря. Основной задачей Совета было «изучение морских промыслов и их защита от хищнической эксплуатации» и согласование исследований в северных морях. Кроме России туда входили скандинавские страны и Германия. Но очень скоро Совет распространил свою деятельность и на весь Мировой океан, а его членами стали практически все морские державы. В руководство вошли известные ученые: Ф. Нансен, М. Амундсен, М. Кнудсен, Дж. Моррей, О. Петерсен, Х. Диксон. Россию в Совете представляли С. О. Макаров и Н. М. Книпович. Уже на первых заседаниях в Стокгольме (1899) было констатировано, что предыдущие экспедиционные исследования носили описательный характер, а наблюдения в поверхностном «навигационно-активном слое» проводились разными методами и были недоступны для сравнения и анализа. Но основным камнем преткновения в Совете был предложенный Англией принцип экстерриториальности научных исследований, что давало ей доступ в прибрежные воды других



стран. Русские представители, основываясь на результатах проведенных экспедиций, доказали способность России самостоятельно проводить комплексные научные изыскания на самом высоком уровне. «Исследования русских морей — дело русского государственного интереса, и инициатива здесь

должна принадлежать исключительно России. <...> Международное сотрудничество может быть крайне полезно только для начала, пока дело не окрепнет и не станет на твердую почву» [9]. Позиция России была поддержана Германией и другими европейскими странами. Совет специальным постановлением

(Осло, 1901) определил для стран-участниц «зоны ответственности», где проводились основные исследования. Для России такими зонами стали: Черное, Азовское, Каспийское и Баренцево моря, моря Дальнего Востока, восточная часть Балтийского моря, Рижский и Финский заливы. ■

## Литература

1. *Беляева В.Н.* К истории экспедиционных ихтиологических исследований на Каспии // Каспийское море: Ихтиофауна и промысловые ресурсы. М., 1989. С.7—12.
2. *Бородин Н.А.* // Вестн. рыбопромышленности. 1897.
3. *Линдберг Г.У.* // Вопр. ихтиологии. 1974. Т.14. Вып.3(86). С.357—366.
4. *Шиндлер И.Б.* Гидрографические исследования // Карабугазский залив: Исследования экспедиции, снаряженной в 1897 г. министерствами Морским и Земледелия и государственных имуществ. Ч.1. СПб., 1898. С.3—23.
5. *Остроумов А.А.* Зоологические исследования // Карабугазский залив. Исследования экспедиции, снаряженной в 1897 г. министерствами Морским и Земледелия и государственных имуществ. Ч.1. СПб., 1898. С.24—29.
6. *Андрусов Н.И.* Аджидарья, или Карабугазский залив // Карабугаз и его промышленное значение. 1930.
7. *Книпович Н.М.* // Тр. Санкт-Петербург. об-ва естествоиспытателей. 1894. Т.24. Вып.1. Отд. зоол. и физиол. С.165—210.
8. *Игнатъев С.М.* Удивительный морской водоем // Природа. 2001. №5. С.92.
9. *Лебединцев А.А.* // Вестн. рыбной промышленности. СПб., 1902. №10—12.

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь  
**Ю.К.ДЖИКАЕВ**

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, Мароковский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (095) 238-26-33  
Подписано в печать 15.10.2001  
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 2642  
Набрано и сверстано в редакции  
Отпечатано в ППП типографии «Наука»  
Академиздатцентра «Наука» РАН,  
121099, Москва, Шубинский пер., 6  
Налоговая льгота — общероссийский  
классификатор продукции ОК-005-  
93, том 2; 952000 — журналы