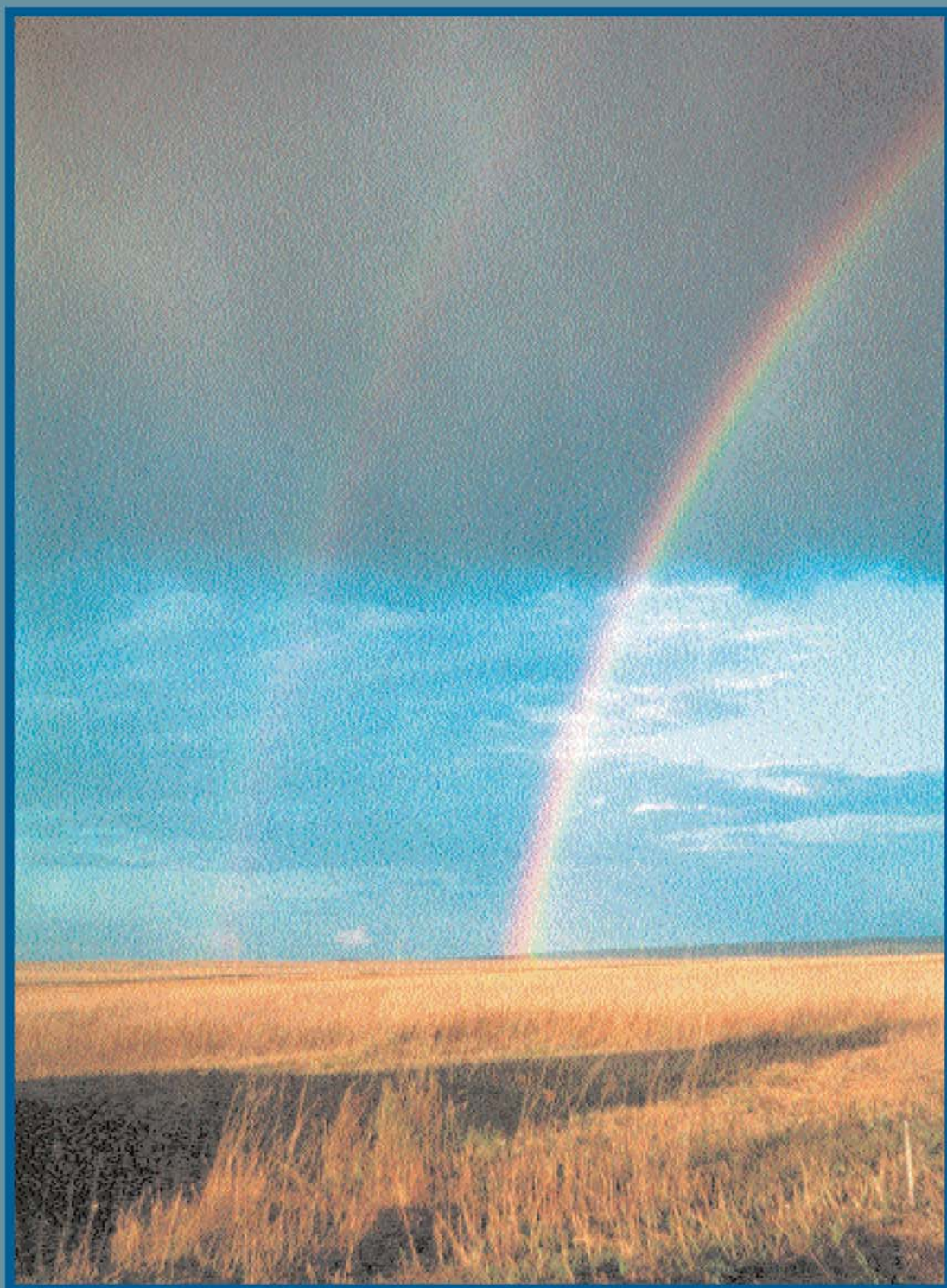


ПРИРОДА

2001 9



В НОМЕРЕ:

3 Голубовский М.Д.
Неканонические наследственные изменения (Окончание)

9 Звездин А.К., Звездин К.А.
Суперпарамагнетизм сегодня: магниты-карлики на пути в мир квантов

Полувекое изучение магнитных свойств малых частиц позволило магнитам заметно продвинуться в мир квантов. Сейчас на повестке дня — создание квантового диска.

Калейдоскоп

18
Ханфордский реактор окончательно остановлен (18). — Реконструкция научной базы США на Южном полюсе (18). — Новый робот для морских нефтяников (28). — Красный список Мирового наследия расширяется (28). — Укрощение озера-убийцы (29). — Палеонтологическая сенсация повисла в воздухе (29). — Подводные археологи применяют роботы (78). — Ядовитые птицы (78).

19 Бернардини Карло
Ребята с улицы Панисперна
К 100-летию Энрико Ферми

Триумф группы итальянских физиков, сформировавшейся вокруг Ферми в Институте физики в Риме, был недолгим. Знаменитую пятерку развеяло свинцовым ветром фашизма.

30 Михайлов О.В.
Несеребряные изображения из металлохелатов

Угроза «серебряного голода» в фотографии заставила специалистов искать новые методы получения изображений. В одном из них работают металлорганические комплексы.

37 Горбушина А.А.
Кто живет на голом камне?

Опыт работы с различными памятниками под открытым небом показал, что лобые каменные поверхности могут служить ареной для развития микромощных сообществ.

Научные сообщения

45 Стыгар В.М., Ковнат Л.С., Васильева Е.Д.

Паля Гриценко — новый эндемичный вид гольцов Северных Курил

Вести из экспедиций

50 Зданович Г.Б., Иванов И.В., Плеханова Л.Н.
Музей-заповедник «Аркаим» в Стране городов

Лекторий

59 Махлаев Л.В., Голубева И.И.
Флюидизаты требуют внимания

Повышенный интерес к этим удивительным горным породам обусловлен не только необычностью их состава и облика, но и тем, что с ними нередко связаны месторождения ценных металлов и алмазов.

Научные сообщения

69 Басов И.А.
Эволюция ледового щита Антарктиды
(178-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)
Новикова О.А.

Гамма-всплеск на краю Вселенной (71)

73 Довгаль И.В.
Простейшие — обитатели пограничного слоя

Изучение одноклеточных, поселившихся на подводных объектах, с позиций гидродинамики позволило узнать много нового о биологии и эволюции этих организмов.

Новости науки

79
Парадокс солнечных нейтрино разрешен. **Бялко А.В.** (79). — Комета Хейла-Боппа все еще активна (79). — Какая погода на Титане? (80). — Загадочный метеорит Тагитш-Лейк (81). — Какая страна станет домом для термоядерного реактора ITER? (81). — Где и когда приручили лошадь? (83). — Тихоокеанские кожистые черепахи — у последней черты (83). — Планы бурения в океане на ближайшие годы. **Пушаровский Ю.М.** (84). **Коротко** (44). **Объявления** (90).

ВСПОМИНАЯ А.И. АХИЕЗЕРА

85 Баряхтар В.Г., Каганов М.И., Любарский Г.Я.

№3 в списке Ландау

Рецензии

Каганов М.И.

Глазами Ахиезера (87)

Встречи с забытым

92 Богданов В.В.
Штурман Челюскин

CONTENTS:

- 3 Golubovsky M.D.**
Noncanonical Hereditary Variations (Concluded)

- 9 Zvezdin A.K. and Zvezdin K.A.**
Superparamagnetism Today: Dwarf Magnets on Their Way to the Quantum World

Half a century of research on the magnetic properties of small particles has brought magnets much closer to the quantum world. A current task on the agenda is to create a quantum disk.

Kaleidoscope

- 18**
 The Hanford Reactor Has Been Completely Shut down (18). — Reconstruction of a US Research Base at the South Pole (18). — A New Robot for Marine Oil Producers (28). — The World Heritage List Is Expanding (28). — The Taming of a Killer Lake (29). — A Paleontological Sensation up in the Air (29). — Submarine Archaeologists Using Robots (78). — Poisonous Birds (78).

- 19 Bernardini Carlo**
The Guys from Via Panisperna
 On the 100th Birthday of Enrico Fermi

The triumph of the group of Italian physicists formed around Fermi at the Physics Institute in Rome was short-lived. The famous five were dispersed by the leaden wind of fascism.

- 30 Mikhailov O.V.**
Nonsilver Images Based on Metallochelates

The threat of a «silver famine» in photography has compelled specialists to search for new methods for producing images. One of these is based on organometallic complexes.

- 37 Gorbushina A.A.**
Who Lives on the Bare Stone?

The experience of working with various monuments in the open air indicates that any stony surfaces can provide an arena for the development of micromycetite communities.

Scientific Communications

- 45 Stygar V.M., Kovnat L.S., and Vasil'yeva E.D.**
Salvelinus gritzenkoi: A New Endemic Species of Chars in the Northern Kurils

News from Expeditions

- 50 Zdanovich G.B., Ivanov I.V., and Plekhanova L.N.**
The Arkaim Preserve Museum in the Land of Towns

Lectures

- 59 Makhlaev L.V. and Golubeva I.I.**
Fluidizates Require Attention

Intense interest in these amazing rocks is due not only to their unusual composition and appearance but also to the fact that deposits of valuable metals and diamonds are frequently associated with them.

Scientific Communications

- 69 Basov I.A.**
Evolution of the Antarctic Ice Sheet (178th Cruise of the JOIDES Resolution)
Novikova O.A.
Gamma-Ray Burst at the Edge of the Universe (71)

- 73 Dovgal I.V.**
Protozoans: Inhabitants of the Boundary Layer

Hydrodynamic research on single-cell organisms that settled on submarine objects has provided many new insights on their biology and evolution.

Science News

- 79**
 The Paradox of Solar Neutrinos Solved. **Byalko A.V.** (79). — Comet Hale-Bopp Is Still Active (79). — What's the Weather on Titan? (80). — The Enigmatic Tagish-Leik Meteorite (81). — Which Country Will Be the Home of the ITER Reactor? (81). — Where and When Was the Horse Tamed? (83). — Pacific Leatherly Turtles on the Verge of Extinction (83). — Ocean Drilling Plans for the Next Few Years. **Pushcharovsky Yu.M.** (84).
 In Brief (44)
 Advertisements (90)

REMINISCING ABOUT A.I.AKHIEZER

- 85 Baryakhtar V.G., Kaganov M.I., and Lyubarsky G.Ya.**
No. 3 on Landau's List

Book Reviews

- Kaganov M.I.**
Through the Eyes of Akhiezer (87)

Encounters with the Forgotten

- 92 Bogdanov V.V.**
Navigator Chelyuskin

Неканонические наследственные изменения

М.Д.Голубовский

Приобретенные признаки наследуются

«История биологии не знает более выразительного примера многовекового обсуждения проблемы, чем дискуссия о наследовании или о ненаследовании приобретенных признаков», — эти слова стоят в начале книги известного цитолога и историка биологии Л.Я.Бляхера [12]. В истории, пожалуй, можно вспомнить аналогичную ситуацию с попытками превращения химических элементов. Алхимики верили в эту возможность, но в химии утвердился постулат о неизменности химических элементов. Однако ныне в ядерной физике и химии исследования по превращению элементов и анализ их эволюции — дело обычное. Кто же оказался прав в многовековом споре? Можно сказать, что на уровне химических молекулярных взаимодействий не происходит превращения элементов, а на ядерном уровне оно — правило.

Напрашивается сходная аналогия и с вопросом о наследовании признаков, которые появились в ходе онтогенеза. Если вновь возникающие наследственные изменения сводить лишь к мутациям генов и хромосом, тогда вопрос можно счи-

тать закрытым. Но если исходить из обобщенной концепции генома, включая представление о динамической наследственности [2, 3], проблема нуждается в пересмотре. Помимо мутационной существует вариационная и эпигенетическая формы наследственной изменчивости, связанные не с изменениями в тексте ДНК, а в состоянии гена. Такие эффекты обратимы и наследуемы.

Интересно, что вышедший в конце 1991 г. Международный ежегодник по генетике открывается статьей О.Ландмана «Наследование приобретенных признаков» [13]. Автор суммирует уже давно полученные в генетике факты, показывая, что «наследование приобретенных признаков вполне совместимо с современной концепцией молекулярной генетики». Ландман детально рассматривает около десяти экспериментальных систем, в которых установлено наследование приобретенных признаков. Четыре разных механизма способны привести к нему: изменение структур клеточной оболочки, или кортекса, изученное Т. Соннеборном у инфузорий; ДНК-модификации, т.е. клонально передаваемые изменения в характере локального метилирования ДНК (сюда входит феномен импринтинга); эпигенетические изме-

нения без каких-либо модификаций ДНК; индуцированная утрата либо приобретение факультативных элементов.

Статья Ландмана делает нас как бы свидетелями критического периода смены постулата в генетике, казавшегося неколебимым как скала. Автор спокойно, без ажиотажа и новых сногшибательных фактов, объединяет старые и новые данные в систему, дает им ясное современное истолкование. Можно сформулировать общий принцип: *наследование приобретенных признаков возможно в тех случаях, когда некий фенотипический признак зависит от числа или топографии факультативных элементов.*

Приведу два поучительных примера на дрозофиле: первый связан с поведением вируса сигма, второй — мобильных элементов, ответственных за гибридную стерильность самок и сверхмутабильность.

Изучение взаимодействия вируса сигма с геномом дрозофилы началось более 60 лет назад. Сначала в 1937 г. французский генетик Ф.Леритье обнаружил резкие наследственные отличия у разных линий мух по степени чувствительности к углекислому газу (CO₂). Признак наследовался причудливым образом: через цитоплазму, но не только по материнской линии,



Неменделевское наследование признака у дрозофилы, который зависит от популяции факультативных элементов генома. Признак чувствительности к CO₂ вызван присутствием в цитоплазме мухи рабдовируса сигма. В результате температурного шока на ранней стадии развития дрозофилы блокируется размножение вируса, и выросшие особи приобретают устойчивость к нему.

а иногда и через самцов. Чувствительность можно было передать и путем инъекции гемолимфы, причем разным видам дрозофил. В этих случаях признак передавался не стабильно, но в результате отбора наследование становилось устойчивым.

Чувствительность к CO₂ оказалась связана с устойчивым размножением в половых и соматических клетках РНК-содержащего пулевидного рабдовируса сигма, сходного по ряду свойств с вирусом бешенства у млекопитающих. Оогонии (клетки, из которых в ходе мейоза и созревания образуются яйцеклетки) у самок стабилизи-

рованной линии обычно содержат 10–40 вирусных частиц, а ооциты (зрелые яйцеклетки) — 1–10 млн. Вирус сигма — типичный факультативный элемент. Мутации в его геноме приводят к сложным формам поведения системы. Найдены случаи вирусносительства, при которых дрозофилы остаются устойчивы к CO₂, но вместе с тем иммунны к заражению другими штаммами вируса. Ситуация вполне сравнима с поведением системы фаг—бактерия, что сразу заметили Ф.Жакоб и Э.Вольман.

Взаимоотношения генома дрозофилы и размножающего-

ся в ее цитоплазме вируса подчиняются правилам внутриклеточной генетики. Воздействия в ходе онтогенеза могут вызвать сдвиг в числе и межклеточной топографии частиц и как результат — изменить степень чувствительности к углекислому газу. Так, повышенная температура блокирует репликацию вирусных частиц. Если самок и самцов в период гаметогенеза содержать несколько дней при температуре 30°C, потомство от таких мух будет свободно от вируса и устойчиво к CO₂. Значит, приобретенный в ходе индивидуального развития признак наследуется в ряду поколений.

Ситуация с вирусом сигма не единична. Французские генетики изучали факторы стерильности самок, связанные с поведением мобильных элементов типа «I». Наследование этого признака определяется сложными ядерно-цитоплазматическими взаимодействиями. Если в отцовских хромосомах локализованы активные I-элементы, то на фоне R-цитоплазмы они начинают активироваться, претерпевают множественные транспозиции и в результате вызывают резкие нарушения онтогенеза в потомстве самок с чувствительной цитоплазмой. Такие самки откладывают яйца, но часть эмбрионов гибнет на ранней стадии дробления — еще до образования бластомеры. Линии, выделенные из природных популяций, отличаются по силе действия I-факторов и степени реактивности (или чувствительности) цитоплазмы. Эти показатели можно изменить внешним влиянием. Возраст исходных родительских самок, а также воздействие в ранний период развития повышенной температуры отражаются не только на плодовитости выросших самок, но и на плодовитости их потомства. Вызванные условиями среды изменения реактивности цитоплазмы поддерживаются на протяжении многих клеточных поколений. «Самое замечатель-

ное, что эти изменения реактивности цитоплазмы под влиянием негенетических факторов наследуются: наблюдается наследование «благоприобретенных» признаков», — отмечал Р.Б.Хесин [5].

Наследование через цитоплазму: от бабушек до внуков

В теории развития и феногенетике XX в. важное место занимают глубокие и совершенно оригинальные исследования эмбриолога П.Г.Светлова (1892—1972). Остановимся на разработанной им теории квантованности онтогенеза (наличии критических периодов в развитии, когда происходит детерминация морфогенетических процессов и одновременно повышается чувствительность клеток к повреждающим агентам) и на развитой в связи с этим идее, что изучение онтогенеза надо вести не с момента оплодотворения и образования зиготы, а еще с гаметогенеза, включающего оогенез у самок предшествующего поколения — проэмбрионального периода.

На основании этих постулатов Светлов провел в 60-е годы простые и ясные опыты на дрозофиле и мышах. Он убедительно показал, что возможно стойкое неменделеевское наследование свойств цитоплазмы, а модификация в выраженности мутантных признаков, возникшие после кратковременного внешнего воздействия в критический период развития организма, тоже передаются в ряду поколений [14].

В одной из серий опытов он сравнивал степень проявления мутантного признака в потомстве двух линий мышей, гетерозиготных по рецессивной мутации микрофтальмии (уменьшенный размер сетчатки и глаз с момента рождения): нормальных по фенотипу гетерозигот, у которых мутантными были матери, и тех, у которых мутантны

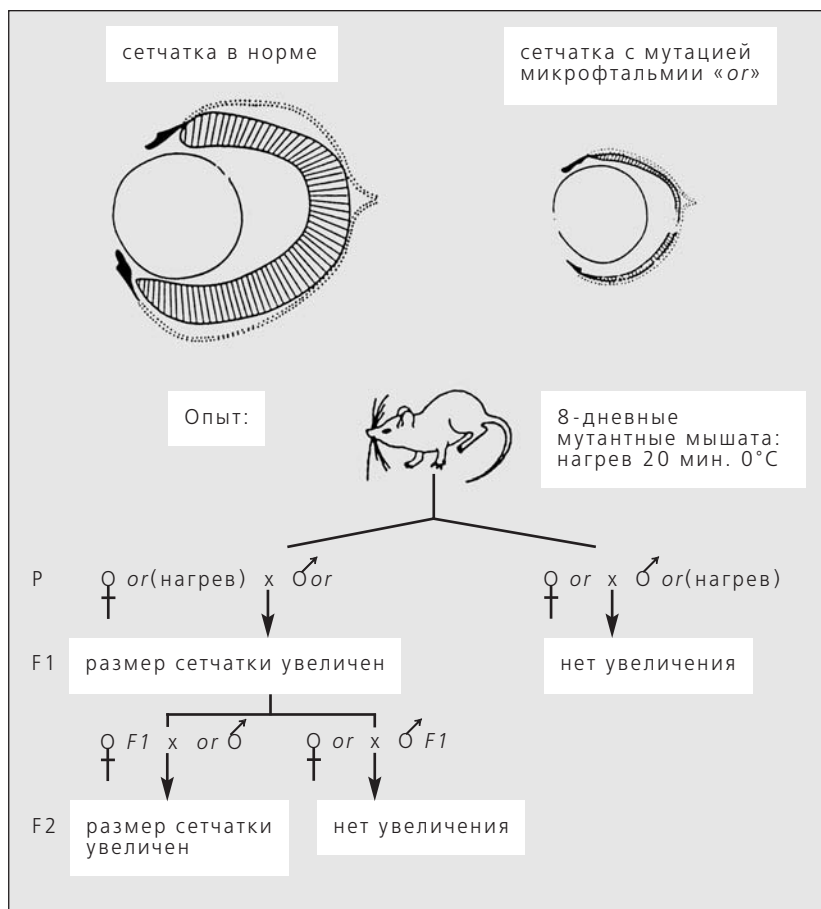


Схема опытов П.Г.Светлова, демонстрирующая передачу в ряду поколений мышей мутации — микрофтальмии. Однократное 20-минутное действие повышенной температуры на мутантных восьмидневных мышат влечет улучшение развития глаз у их потомков (F1 и F2). Этот признак наследуется только по материнской линии и связан с изменением в ооцитах.

отцы. Потомство от мутантной бабушки отличалось более сильным проявлением признака. Светлов объяснял этот странный факт тем, что женские гаметы гетерозиготных самок находились еще в теле их мутантных матерей и испытывали с их стороны влияние, которое усилило мутацию у внуков.

По существу Светлов установил явление, впоследствии получившее название «геномный импринтинг» — различие в выраженности гена в зависимости от того, пришел он к потомству от матери или от отца. Работы эти, увы, остались недооцененными.

Интересно, что еще в конце 80-х годов импринтинг, как остроумно заметил К.Сапиенца, исследователь этого феномена, было «принято считать генетическим курьезом, затрагивающим лишь очень немногие признаки. Меня неоднократно спрашивали, почему я попросту трачу свое время на столь незначительное явление» [15]. Большинство исследователей безоговорочно принимали одно из главных положений Менделя — «зачаток», или ген, не может менять свои потенции в зависимости от пола, на чем основано повсеместно наблюдаемое расщепление 3:1. Но Сапиенца

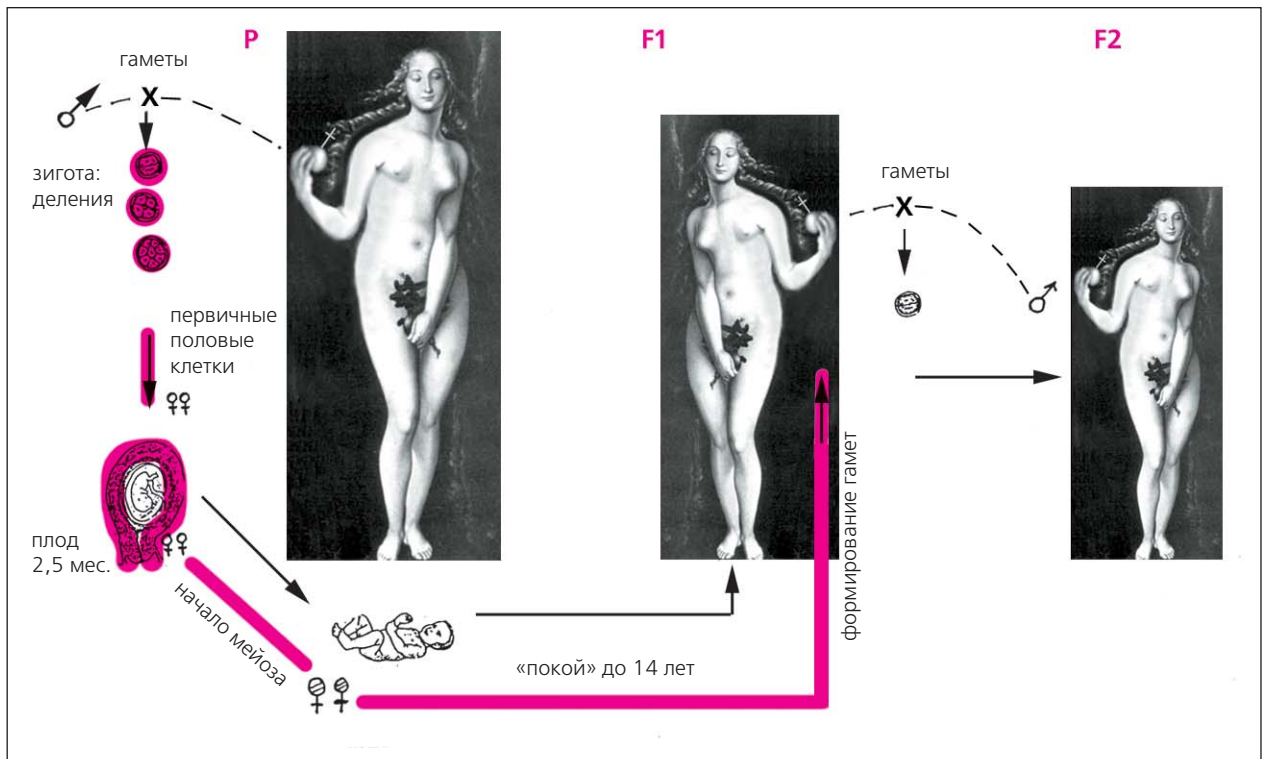


Схема оогенеза в трех последовательных женских поколениях. P — бабушка, F1 — мама, F2 — дочь.

совершенно справедливо заметили, что при анализе менделевского расщепления обычно рассматривают только наличие или отсутствие признака, а если он количественный, то границу есть—нет устанавливают по принятому порогу. Если же выявить, какова степень проявления признака, обнаружится влияние генного импринтинга.

Именно таков был подход Светлова, когда он тщательно изучал, как меняется выраженность признаков у потомства в зависимости от материнского генотипа. Как эмбриолог он видел общность наследственных и особых ненаследственных изменений — фенкопий (имитирующих мутации), если затрагивается один и тот же морфогенетический аппарат, ответственный за осуществление данного признака.

Впервые на разных видах животных (дрозофилах и мышах) Светлов показал возможность наследования через мейоз

измененного характера проявления мутантного гена. Недаром эти работы Хесин в своей сводке назвал замечательными [16].

Кратковременное (20 мин) прогревание тела восьмидневного мышонка самки вызвало стойкие изменения ооцитов, ослаблявшие действие вредной мутации у внуков! «Передача улучшения развития глаз, наблюдаемая в опытах с нагреванием, может быть объяснена только передачей свойств, приобретенных ооцитами нагретых самок по наследству» [16]. Этот феномен Светлов связывал с особенностями формирования и строения яйцеклетки у животных, ибо «в ооците имеется как бы каркас, отражающий наиболее общие черты архитектуры строящегося организма». Для профилактики нарушений развития у человека он обосновал необходимость изучения критических периодов гаметогенеза, в которых повышена чувствительность к по-

вреждениям. Возможно, в патогенезе аномалий развития у человека этап формирования гамет даже более важен, чем эмбриогенез.

Сегодня этот вывод подтвержден молекулярно-генетическими исследованиями последнего десятилетия [17]. У дрозофилы установлены три системы материнских генов, которые формируют осевую и полярную гетерогенность цитоплазмы и градиенты распределения биологически активных генных продуктов. Задолго до начала оплодотворения происходит молекулярная детерминация (предопределение) плана строения и начальных этапов развития. В формировании ооцита большую роль играют геннопродукты клеток материнского организма. В некотором смысле это можно сравнить с откармливанием матки в улье группой рабочих пчел.

У человека первичные половые клетки, из которых потом

возникают яйцеклетки-гаметы, начинают обособляться у двухмесячного эмбриона. В возрасте 2.5 месяца они вступают в мейоз, но сразу после рождения это деление блокируется. Оно возобновляется через 14–15 лет с началом полового созревания, когда яйцеклетки раз в месяц выходят из фолликул. Но в конце второго деления мейоз снова останавливается и его блокировка снимается только при встрече со спермием. Таким образом, женский мейоз начинается в 2.5 месяца и заканчивается лишь через 20–30 и более лет, сразу после оплодотворения.

Зигота на стадии двух—восьми клеток имеет ослабленный геномный иммунитет. При изучении нестабильных инсерционных мутаций в природных популяциях дрозофилы мы обнаружили, что активация мобильного элемента, сопровождаемая мутационным переходом, происходит часто уже в первых делениях зиготы или в первых делениях первичных половых клеток. В итоге одно мутантное событие захватывает сразу клон первичных половых клеток, пул гамет становится мозаичным, и наследственные изменения в потомстве возникают пучками или кластерами, имитируя семейное наследование.

Эти эксперименты весьма важны для эпидемиологии, когда возникает вопрос о степени влияния той или иной вирусной эпидемии на генофонд потомства. Начатые еще в начале 60-х годов пионерные исследования С.М.Гершензона и Ю.Н.Александрова привели к выводу, что ДНК- и РНК-содержащие вирусы и их нуклеиновые кислоты — мощные мутагенные агенты. Попадая в клетку, они провоцируют геномный стресс, активируют систему мобильных элементов хозяина и вызывают нестабильные инсерционные мутации в группе избранных локусов, специфичных для каждого агента.

Теперь представим, что мы хотим оценить влияние на наследственную изменчивость у человека какой-либо вирусной пандемии (например, гриппа). При этом можно ожидать, что частота разного рода аномалий развития будет повышена в первом поколении у потомства, родившегося в год или спустя год после эпидемии. Оценку же частоты мутационных и вариационных изменений в половых клетках (гаметах) следует проводить во внучатом поколении.

Общий вывод состоит в том, что наследственная изменчивость у внуков может весьма зависеть от условий, в которых происходил оогенез у их бабушек! Представим женщину, которой в 2000 г. было около 25 лет, а матерью она станет в третьем тысячелетии. Оплодотворенная яйцеклетка, из которой она сама появилась на свет, начала формироваться в то время, когда ее мать была еще двухмесячным эмбрионом, т.е. где-то в середине 50-х годов XX в. И если в эти годы свирепствовал грипп, то его последствия должны сказаться через поколение. Для оценки последствий глобальной эпидемии на генофонд человечества надо сравнивать внучатое потомство трех групп, или когорт, — тех, у которых бабушки были беременны в год, когда разразилась эпидемия, с теми, чьи бабушки забеременели до и после пандемии (это две контрольные когорты). К сожалению, такие важные для охраны здоровья эпидемиолого-генетические сведения пока отсутствуют.

О призраках и борьбе с чудовищами

Прошло 30 лет после опытов Светлова, несложных по технике, но оригинальных по замыслу и глубоких по своим выводам. В середине 90-х годов произошел психологический перелом: резко возросло число работ в области наследственной

изменчивости, в названии которых стоит слово «эпигенетический».

Разного рода эпимутации (наследственные вариации в характере геномной активности, не связанные с изменениями в тексте ДНК и носящие массовый, направленный и обратимый характер) перешли из разряда маргинальных в активно изучаемое явление. Стало очевидно, что живые системы обладают оперативной «памятью», которая находится в непрерывном контакте со средой и использует средства природной эмбриогенетической инженерии для быстрого наследуемого перехода из одного режима функционирования в другой. Живые системы не пассивные жертвы естественного отбора, а все эволюционные формы жизни вовсе не «помарка за короткий выморочный день», как писал Мандельштам в своем известном шедевре «Ламарк».

Оказалось, что эпимутации сплошь и рядом можно обнаружить у обычных «классических генов», надо только подобрать пригодную экспериментальную систему. Еще в 1906 г., за пять лет до того как Морган стал работать с дрозофилой, французский биолог-эволюционист Л.Кэно открыл у мышей менделевскую мутацию «желтое тело». Она обладала удивительной особенностью — доминантностью по отношению к нормальной окраске (серо-коричневой) и летальностью в гомозиготе. При скрещивании гетерозиготных желтых по цвету мышей друг с другом из-за гибели гомозигот нормальные мыши появлялись в потомстве в соотношении не 3:1, а 2:1. Впоследствии оказалось, что так ведут себя многие доминантные мутации у разных организмов.

Выяснилось, что в области транскрипции одного из аллелей гена «желтое тело» внедрен мобильный элемент, напоминающий по структуре и свойствам ретровирус. В результате такой вставки ген стал подчи-

няться знакам пунктуации своего незваного гостя и непредсказуемо активироваться «в ненужное время и в ненужном месте». У мутантов с инсерциями (вставками) возникают множественные дефекты (желтая окраска меха, ожирение, диабет и др.), а поведение становится нестабильным. Ненужная активность вставки в той или иной степени гасится в разных тканях за счет обратимой модификации или метилирования оснований ДНК. На уровне фенотипа проявление доминантного аллеля сильно колеблется и носит мозаичный характер. Австралийские генетики обнаружили, что у отобранных из гомогенной линии желтых самок в потомстве было больше желтых мышей, а фенотип отца — носителя мутации — не влияет на изменение окраски у потомства. Самки оказались более инерционны, и они, отобранные по фенотипу модификации ДНК, или отпечатки-импринты лучше сохранялись в оогенезе. Другие генетики нашли и чисто материнское влияние, аналогичное обнаруженному в опытах Светлова. В зависимости от диеты беременных самок выраженность мутации «желтое тело» определенным образом менялись в генотипе гетерозигот. Такое измененное состояние нестойко, но наследовалось в потомстве. Степень проявления признака коррелировала со степенью

метилирования оснований ДНК во вставке.

Касаюсь этих и других подобных опытов, научный обозреватель журнала «Science» назвал свою заметку «Был ли все же Ламарк немного прав?» Такая тактичность понятна. Во-первых, осторожность оправдана, когда приходится ревизовать то, что десятилетиями считалось прочно установленным. Во-вторых, наследование приобретенных признаков связывается не только с именем Ламарка, но и с призраком Лысенко (о последнем упоминает автор заметки). Действительно, вольно или неволью тень «мичуринской биологии» всплывает, когда обсуждается проблема наследования приобретенных признаков. И не только в России, где еще так жива память о трагедии в биологии, связанной с господством Лысенко.

Сегодня многие общепринятые положения классической генетики, которые отвергал Лысенко, стали неволью, в пику ему, считаться почти абсолютной истиной. И тем не менее, если тот или иной серьезный исследователь обнаруживал что-либо внешне созвучное взглядам Лысенко, он опасался это обнародовать, боясь остракизма со стороны научного общества. И даже если работа публиковалась, она сопровождалась многими оговорками и оставалась на периферии науки.

Познакомившись в 60-е годы со статьями А.А.Любищева (самого близкого друга Светлова), я пытался понять, почему он, будучи одним из самых активных самиздатных критиков лысенкоизма с 1953 по 1965 г. — его статьи и письма были собраны в книге «В защиту науки» (Л., 1990), — тем не менее не считал вопрос о наследовании приобретенных признаков окончательно решенным. Этот всеми признанный знаток эволюционной биологии указывал на незавершенность теории наследственности, на сходство наследственной и модификационной изменчивостей. Теперь мы знаем, как трудно бывает во многих случаях провести между ними границу. Любищев приводил факты массовых, быстрых и упорядоченных преобразований фенотипа в эволюции, явно необъяснимых с позиций моргановских мутаций и дарвиновского отбора. Возвысив свой голос против монополии Лысенко, Любищев выступал в защиту науки как таковой, против утвердившегося в ней аракчеевского режима. В сфере же самой науки он следовал древнему принципу: «Платон мне друг, но истина дороже». И поэтому не скрывал своих несогласий со многими генетиками и дарвинистами. Да, Любищев оказался прав, древо жизни куда сложнее самонадеянных рассуждений. ■

Литература

12. Бляхер Л. Я. Проблема наследования приобретенных признаков. М., 1971.
13. Landman O. // Ann. Rev. Genet. 1991. V.25. P.1—20.
14. Соколова К.Б. Развитие феногенетики в первой половине XX века. М., 1998.
15. Сапиенца К. // В мире науки. 1990. №12. С.14—20.
16. Светлов П. Г. // Генетика. 1966. №5. С.66—82.
17. Корочкин Л. И. Введение в генетику развития. М., 1999.

Суперпарамагнетизм сегодня: магниты-карлики на пути в мир квантов

А.К.Звездин, К.А.Звездин

В научном фольклоре наших дней есть крылатые слова: если из всех накопленных знаний потребовалось бы сохранить одну фразу, концентрирующую самые важные из них, то это было бы утверждение: «Весь наблюдаемый мир состоит из атомов». Им открываются знаменитые Фейнмановские лекции [1].

Уместно напомнить, что впервые идея об атомном строении нашего мира была высказана древнегреческими философами Левкиппом и Анаксагором в начале V в. до н.э. Демокрит, ученик Левкиппа, развил эту идею до такого уровня, что она сохранила свои главные черты до наших дней*.

Наверно, столь же древней является мечта использовать атомы как строительный материал для создания искусственных конструкций и веществ, не существующих в природе. Во всяком случае французский ученый XVII в. П.Гассенди в книге, развивающей учение Демокрита, утверждал, что атомы — это все равно что строительный

* О взглядах древнегреческого философа Демокрита на мир, об его учении о невидимых частицах, из которых состоит наша Вселенная, рассказал римский поэт Лукреций Кар в поэме «О природе вещей». Именно Демокрит назвал эти частицы атомами, что по-гречески значит «неделимые».

© А.К.Звездин, К.А.Звездин



Анатолий Константинович Звездин, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института общей физики РАН. Область научных интересов — физика магнитных явлений, магнитооптика, нанофизика, наноэлектроника. Лауреат Государственной премии СССР (1984).



Константин Анатольевич Звездин, научный сотрудник того же института. Занимается моделированием физических процессов в магнитных наноструктурах.

материал для домов. Подобно тому как из кирпичей, досок и бревен можно построить различные здания, точно так же природа может создавать из небольшого числа различных атомов огромное разнообразие веществ и тел.

Похоже, что в наши дни эта мечта становится реальностью. В последние 10—15 лет в физике, химии и технологии разработаны методы, позволяющие манипулировать с отдельными атомами и молекулами, совершать операции, которые естест-

венно описывать в терминах конструирования на молекулярном уровне. Возникающие новые научные направления снабжают приставкой «нано» (от греч. *νανος* — карлик): нанофизика, наноэлектроника, нанотехнология и т.д., подчеркивая тот факт, что характерный размер объектов в этой области порядка $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ — на уровне размеров атомов и молекул.

Современные возможности блестяще продемонстрировали физики из исследовательского центра корпорации IBM: им удалось уложить 35 атомов ксенона в буквы «I», «B», «M» высотой около 9 нм. Это было сделано в начале 1990 г. К настоящему времени получены разнообразные наноструктуры, из которых наиболее популярны квантовые и магнитные точки, квантовые ямы, квантовые нити, нанопроволоки, сверхрешетки*.

Термины «точки», «ямы», «нити», «проволоки» характеризуют главным образом очевидные геометрические свойства этих объектов, прилагательное «квантовый» отражает тот факт, что их поведение и свойства в значительной степени определяются не классической, а квантовой механикой. С точки зрения приложений эти объекты интересны, если их состоянием удастся воспроизводимым образом управлять. Для магнитных материалов этого можно добиться при помощи внешнего магнитного поля. В статье одного из авторов [2] речь шла о необычных магнитных молекулах, а сейчас мы остановимся на свойствах магнитных ультрамалых частиц и нанокластеров самого различного состава.

* Сверхрешетки представляют собой искусственные нанофазные материалы — многослойные структуры с чередующимися ультратонкими слоями (порядка одного или нескольких нанометров), состоящими из атомов определенного сорта. Примером могут быть сверхрешетки Ge/Si, Fe/Cr, Co/Cu и др.

От доменов к однодоменным частицам

Продвижение в мир миниатюрных магнитов началось сравнительно давно, более 50 лет тому назад. В ходе изучения доменной структуры ферромагнетиков был поставлен вопрос: нельзя ли создать образцы магнитоупорядоченные, но без доменной структуры? Ведь наличие доменной структуры сильно осложняет поведение магнитных тел, поскольку многие важные свойства, связанные с ней, зависят от таких факторов, как дефекты материала, форма образца, механические напряжения, состояние поверхности и т.п. Поэтому эти трудно контролируемые факторы влияют на процесс намагничивания, магнитоупругие, кинетические, высокочастотные, оптические характеристики. Предполагалось, что в образцах без доменной структуры подобное влияние будет исключено.

На макроскопические домены объем магнитного материала разбивается из-за стремления системы к состоянию с минимумом полной энергии, складывающейся из нескольких составляющих — магнитостатической, магнитоупругой, обменного взаимодействия и магнитной анизотропии. Последняя порождена тем, что внутрикристаллическое поле не одинаково вдоль разных кристаллографических осей, и поэтому магнитный момент атома стремится выстроиться вдоль какого-либо выгодного направления, снижающего энергию. Обменное взаимодействие заставляет все элементарные магнитные моменты ориентироваться параллельно друг другу, но такое однородно намагниченное состояние характеризуется большой магнитостатической энергией. Образование доменов с различающимися направлениями вектора намагниченности (в образце достаточно

больших размеров) эту энергию снижает. Однако между доменами появляются переходные области — доменные стенки, и их вклад в энергию становится все весомее по мере снижения линейных размеров системы.

Критический размер образца, ниже которого существование доменов в нем энергетически невыгодно*, рассчитал известный магнитолог профессор МГУ Е.И. Кондорский еще в 1952 г. Эта величина оказалась равной примерно 10 нм для классических ферромагнетиков типа Fe, Ni, Co.

Тогда же английские физики Э.Стонер и Э.Вольфарт предложили простую и элегантную модель перемагничивания однодоменных частиц. Согласно модели процесс перемагничивания частицы происходит когерентно: все спины образца поворачиваются так, что все время остаются ориентированными параллельно друг другу. Это означает, что энергия образца фактически зависит от одной коллективной переменной, например единичного вектора, направленного вдоль вектора намагниченности.

В простейшем случае плотность энергии образца E представляется как алгебраическая сумма плотностей энергий магнитной анизотропии и взаимодействия магнитного момента с внешним полем H :

$$E = K \sin^2 \theta + MH \cos \theta. \quad (1)$$

Здесь K — константа одноосной магнитной анизотропии, M — намагниченность, θ — угол между вектором намагниченности частицы и осью z , направленной вдоль оси легкого намагничивания (которую обычно называют просто легкой осью). Знак «плюс» в равенстве (1) подразумевает, что вектор напряженности внешнего поля

* Образование доменной границы сопровождается затратой энергии, которая в разных материалах варьирует в пределах $0.01 - 1 \text{ эрг/см}^2$.

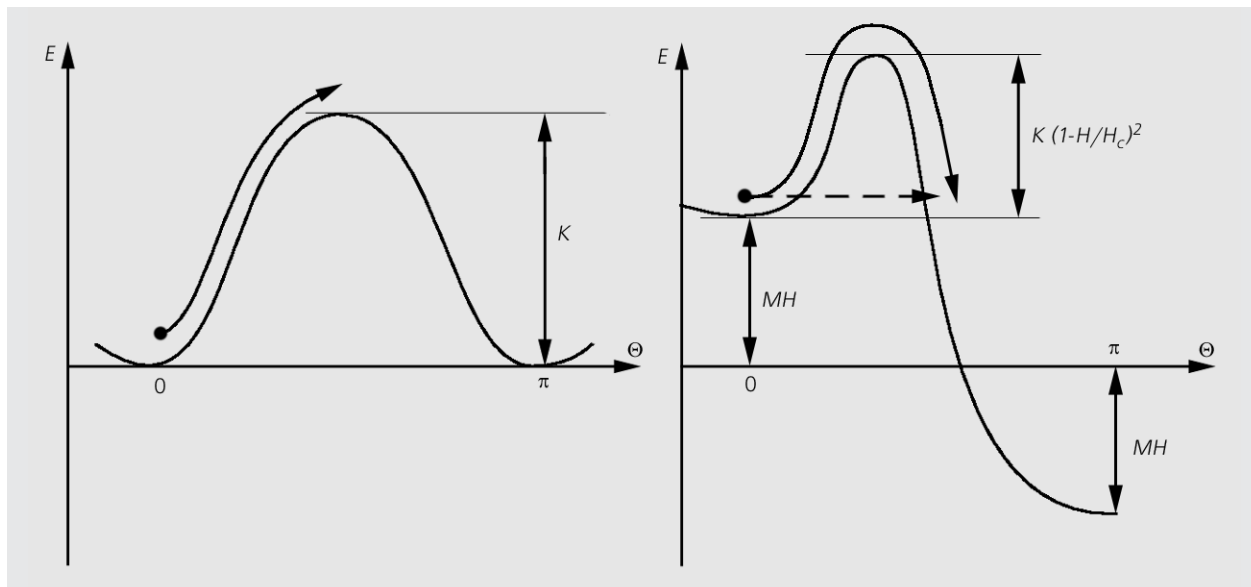


Рис.1. Зависимость энергии E частицы от угла Θ между вектором намагниченности и легкой осью в отсутствие магнитного поля (слева) и при его включении. Поле направлено против оси z и невелико: $H < H_c$. Переход магнитной частицы из метастабильного состояния ($\Theta = 0$) требует преодоления энергетического барьера высотой ΔU , которая уменьшается с ростом поля до нуля при критическом значении $H_c = 2K/M$. В этот момент частица перемагничивается — вектор намагниченности выстраивается вдоль внешнего поля ($\Theta = \pi$).

H ориентирован против оси z , и это направление для него считается положительным. Нетрудно найти возможные устойчивые ориентации магнитного момента, соответствующие минимумам энергии (1) как функции угла θ . В отсутствие внешнего магнитного поля и при его наличии эта зависимость выглядит по-разному (рис.1). Если напряженность внешнего поля невелика ($H < H_c = 2K/M$), то, как и в первом случае, во втором энергия имеет два минимума, которые отвечают двум противоположным ориентациям вектора намагниченности параллельно легкой оси ($\theta = 0$ и $\theta = \pi$), и один максимум. Но только без поля энергия в минимумах одинакова и равна нулю, а при наличии поля эта симметрия нарушается. Один минимум энергии ($\theta = 0$) соответствует метастабильному состоянию, другой ($\theta = \pi$) — равновесному; его называют также глобальным минимумом энергии. Энергетический барьер, разделяющий эти

два состояния, зависит от величины поля H и равен $K(1 - H/H_c)^2$. Поэтому, если увеличивать внешнее поле, то при достижении критического значения $H = H_c$ барьер, отделяющий метастабильное и стабильное состояния, исчезнет. Магнитный момент, если он находился в состоянии $\theta = 0$, переориентируется в противоположном направлении ($\theta = \pi$), т.е. выстроится вдоль внешнего магнитного поля. Этот процесс называют переключением, а поле H_c — полем переключения.

Перемагничивание на компьютере

Исследования последних лет показали, что картина перемагничивания малой частицы, следующая из модели Стонера—Вольфарта, не вполне точна. Хотя в равновесии распределение намагниченности по объему частицы может быть практически однородным, пе-

реходный процесс переключения протекает не когерентно — не все спины поворачиваются одновременно. На рис.2 приведены результаты [3] моделирования магнитной структуры наночастицы в форме параллелепипеда $700 \times 200 \times 4$ нм³, для которой намагниченность насыщения $M_s = 1000$ Гс, константа магнитной анизотропии $K = 1000$ эрг/см³. Фактически каждый из фрагментов 1—12 — это «моментальная фотография» распределения спиновой плотности, соответствующая конкретному моменту времени в процессе переключения. Видно, что сначала на краях элемента зарождаются области обратного намагничивания (вихри), (фрагменты 1, 2), затем они постепенно расширяются к центру элемента (фрагменты 3—9), при этом возникают размытые границы, в которых спины повернуты преимущественно навстречу друг другу. Когда области обратной намагниченности достигают некоторой

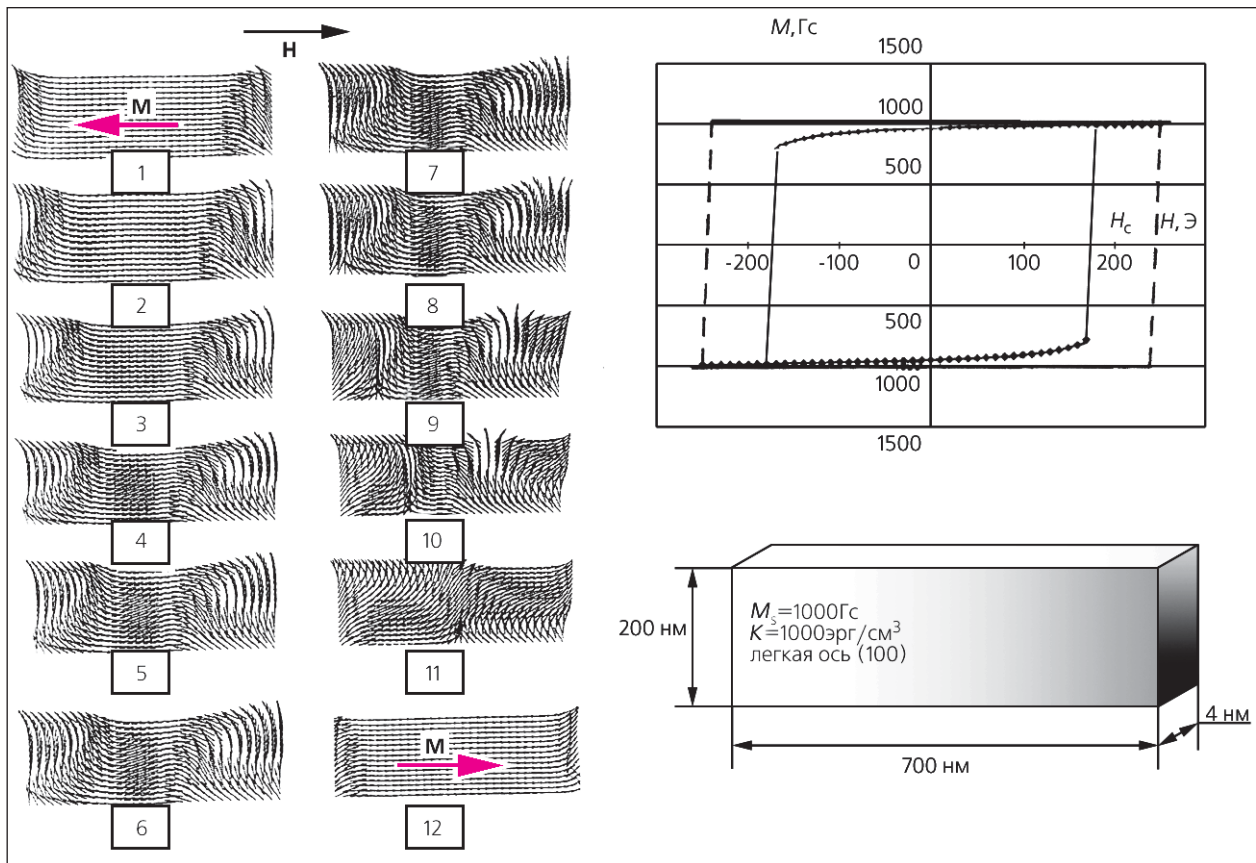


Рис.2. «Покадровая» демонстрация процесса перемагничивания наночастицы в поле $H = H_c$ (по результатам компьютерного моделирования). Распределение спиновой плотности (слева) в объеме наночастицы с заданными размерами и параметрами (справа внизу) эволюционирует некогерентно. При некотором критическом размере перемагниченной области, окружающей центральную область частицы (фрагменты 10, 11) намагниченность последней переворачивается скачком, демонстрируя явление «спинового пробоя». Петля гистерезиса (M — намагниченность наночастицы, H — напряженность внешнего поля), полученная в компьютерном эксперименте (ромбики на рисунке справа вверху), заметно уже, чем рассчитанная по модели Стонера—Вольфарта когерентного перемагничивания (штриховая линия). Поле направлено вдоль длинной оси наночастицы; H_c — коэрцитивная сила.

критической величины (фрагменты 10–11), намагниченность в центре элемента переворачивается практически скачком. Это явление, по очевидной аналогии, можно назвать спиновым пробоем. Важный вывод из компьютерного эксперимента заключается также в том, что характерное поле переключения заметно меньше того, которое следует из модели Стонера—Вольфарта. Кривая гистерезиса на рис.2. помогает наглядно убедиться в этом путем сравнения соответствующи-

щих значений коэрцитивной силы.

Исследования с помощью компьютеров процессов перемагничивания малых частиц очень актуальны, так как устройства памяти, сенсоры, элементы, считывающие информацию, разрабатываются пока на базе магнитных объектов (например, тонких однослойных и многослойных прямоугольных полосок размером 1000 нм и менее и толщиной порядка 10 нм). Поэтому математическое моделирование имеет не толь-

ко познавательный интерес — оно непосредственно используется при проектировании новых магнитных элементов памяти. На рис.3 показаны результаты компьютерного моделирования [3] кинетики перемагничивания трехслойного субмикронного элемента с антиферромагнитным взаимодействием между слоями, так называемого спинового переключателя (spin—valve). Это основной элемент магнитной оперативной памяти MRAM (Magnetic Random Access

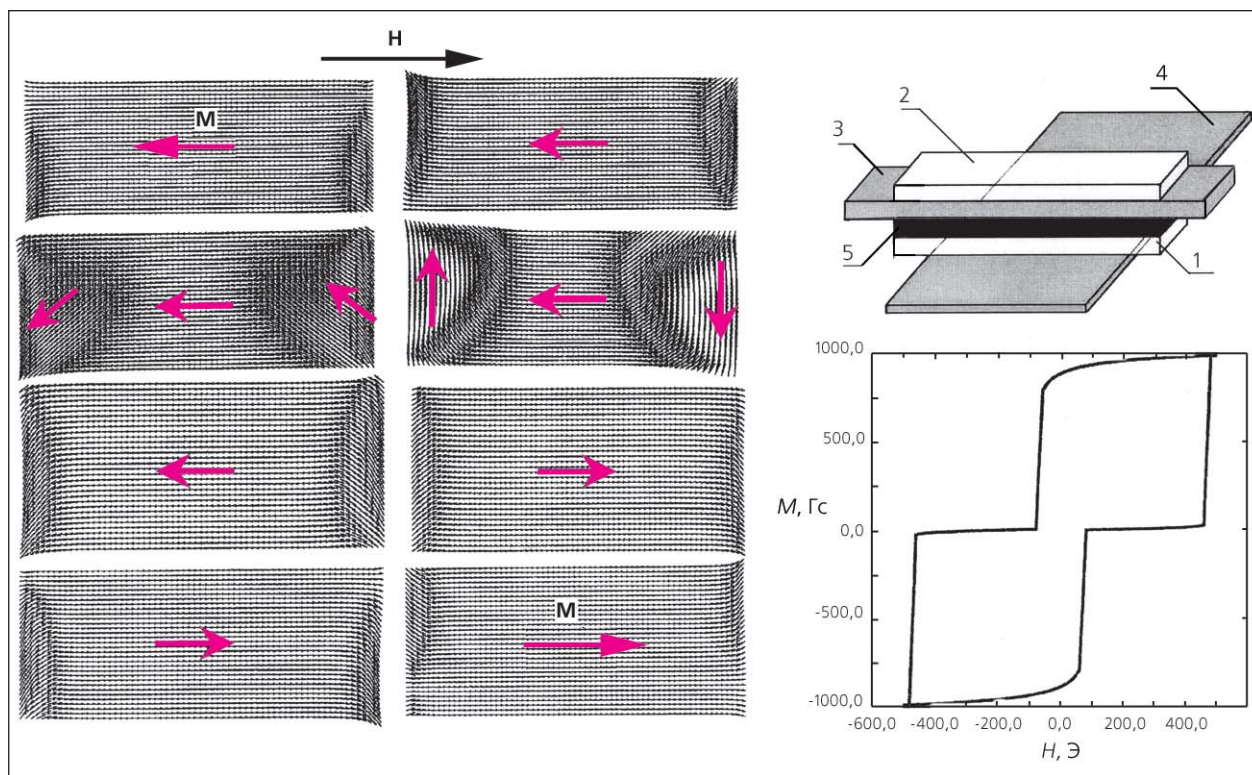


Рис.3. Кинетика перемагничивания в спиновом переключателе, основном элементе MRAM. Справа вверху — схема элемента: антиферромагнитные взаимодействующие магнитомягкая (1) и магнито жесткая (2) пленки толщиной 5 нм, разделенные управляющей токовой шиной (3, немагнитная металлическая пленка толщиной 3–4 нм); вторая токовая шина (4), изолирующая прокладка (5). Справа внизу — зависимость намагниченности сэндвича от напряженности внешнего поля. Слева — картины перераспределения спиновой плотности в процессе переключения, возникающие в магнито жесткой (слева) и магнито мягкой (справа) пленках.

Memory) с очень хорошими параметрами — информационной плотностью, быстродействием, энергонезависимостью, — которую разрабатывают в настоящее время в ведущих компьютерных компаниях мира. Эволюция распределения спиновой плотности в процессе перемагничивания, как видно из рис.3, протекает некогерентно и в данном случае. Это очень важный результат: знать, как происходит этот процесс, крайне необходимо, чтобы оптимизировать прибор и прогнозировать характеристики памяти.

По супервременам — и суперпарамагнетизм

Если размер частицы достаточно мал, величина барьера между минимумами энергии может стать сравнимой с тепловой энергией, и вероятность того, что магнитный момент под влиянием тепловых флуктуаций спонтанно переориентируется, скажем, из метастабильной позиции ($\theta = 0$) в равновесную ($\theta = \pi$), т.е. преодолет барьер, перестанет быть пренебрежимо малой*. На это впервые обратил внимание

французский ученый Л.Неель в 1949 г., изучая свойства малых частиц магнетита Fe_3O_4 в земных породах. Процесс термостимулированного перехода из метастабильного минимума энергии в стабильный называют релаксацией. Неель рассмотрел поведение ансамбля частиц в достаточно сильном магнитном поле. Он показал, в частности, что после выключения поля остаточная намагниченность $M(t)$ уменьшается со временем по экспоненциальному закону

$$M(t) = M(0)\exp(-t/\tau), \quad (2)$$

где $M(0)$ — начальное значение намагниченности, параметр τ — время релаксации.

* Термостимулированные флуктуации намагниченности называют иногда суперпарамагнитными флуктуациями.

Это напоминает процесс релаксации в парамагнетиках, изучаемый обычно с помощью техники электронного парамагнитного резонанса. Однако есть и существенные различия. Для парамагнетиков время релаксации $\tau \approx 10^{-7} - 10^{-12}$ с, а для малых магнитных частиц значительно больше — на многие порядки величины! Обе системы различаются и по величине спина частиц s . В случае парамагнетика $s \approx 1$ и элементарный магнитный момент атома $\mu \approx 2\mu_B$, где μ_B — магнетон Бора. В ансамбле ультрамалых частиц каждая имеет огромный полный спин $\Sigma \gg 1$ и, следовательно, огромный магнитный момент $\mu = 2\mu_B \Sigma \gg \mu_B$: типичные значения $\mu \sim (10^3 - 10^4)\mu_B$. Неель назвал материалы, которые можно рассматривать с точки зрения магнетизма как ансамбли независимых малых магнитных частиц, суперпарамагнетиками, а их квазипарамагнитное поведение — суперпарамагнетизмом. Из формулы (2) следует важный вывод: магнитные характеристики суперпарамагнитных материалов могут лишь медленно изменяться со временем; помимо магнитной релаксации такое поведение называют также магнитным последствием или магнитной вязкостью. Основная величина, определяющая скорость магнитной релаксации Γ (или τ^{-1}) суперпарамагнетика, как установил тот же Неель, следует закону Аррениуса

$$\tau^{-1} = f_0 \exp(-\Delta U/kT), \quad (3)$$

где k — постоянная Больцмана, T — температура, а величина энергетического барьера выражается через объем частицы V и плотность энергии магнитной анизотропии K : $\Delta U = KV$. Предэкспоненциальный множитель f_0 для типичных магнитных частиц лежит в интервале $10^{-9} - 10^{-10} \text{ с}^{-1}$.

Как видим, время релаксации сильно зависит от объема частицы. Например, для сферической частицы Fe при $T = 300 \text{ К}$ и $f_0 = 10^{-9} \text{ с}^{-1}$ $\tau = 0.1 \text{ с}$, если радиус

частицы $R = 11.5 \text{ нм}$, и $\tau = 10^6 \text{ с}$ (30 лет!), если $R = 15 \text{ нм}$. Для сферических частиц Со радиусом $R = 3.6 \text{ нм}$ $\tau = 0.1 \text{ с}$, а при $R = 4.4 \text{ нм}$ $\tau = 6 \cdot 10^5 \text{ с}$ (7 сут).

Регистрация кривой перемагничивания суперпарамагнетиков часто дает существенные разрывы зависимости — все определяется временным масштабом измерительного процесса. У очень малых частиц время релаксации τ бывает достаточно малым, поэтому при измерении с небольшим временным разрешением магнитный момент частицы совершает несколько переходов между минимумами энергии. В этом случае при внешних полях, близких к нулю, измеренное среднее значение намагниченности окажется также равным нулю. Поведение системы таких малых частиц в магнитном поле будет казаться вполне аналогичным поведению ансамбля парамагнитных атомов, для которых гистерезис намагниченности отсутствует. При достаточно быстрых измерениях, когда переходы между минимумами энергии не успевают произойти, на кривой перемагничивания наблюдается гистерезис.

К суперпарамагнетикам относятся ультрадисперсные магнитные материалы, среди которых есть и полимеры, и пластмассы, и жидкости, и жидкие кристаллы, а также нанокompозитные металлические и органические с магнитными компонентами пленки. Изучение суперпарамагнетизма ультрадисперсных сред проводится в настоящее время весьма широким фронтом и представляет один из перспективных разделов современного материаловедения и инженерии, объединяемых понятием «высокие технологии».

Вмешивается квантовая механика

Новое интересное явление обнаружилось, когда изучали, как скорость магнитной релаксации ультрамалых частиц за-

висит от температуры. В соответствии с (3) при приближении температуры к абсолютно нулю эта величина должна также стремиться к нулю. Однако, как мы уже писали [2], целый ряд недавних экспериментов показывает, что это не так: на самом деле скорость релаксации стремится к ненулевому пределу. Этот факт (который ясно виден на рис.4) мы связываем с процессом макроскопического квантового туннелирования (МКТ) намагниченности, когда при достаточно низкой температуре магнитный момент может переориентироваться в результате уже не тепловой, а квантовой флуктуации.

Использование термина «туннелирование» для квантового перехода магнитного момента из метастабильного состояния в равновесное представляется несколько необычным. Действительно, термином «туннельный переход» принято называть переход («просачивание») реальной частицы в пространстве под потенциальным барьером. Классический пример такого перехода — туннельный выход α -частицы из ядра (α -распад). Это явление впервые теоретически описали в 1928 г. Г.А.Гамов и, независимо, Р.Гёрни и Э.Кондон.

Туннельный эффект легко интерпретировать на основе соотношения неопределенности Гейзенберга. Согласно классической механике, частица не может находиться внутри потенциального барьера, если ее полная энергия E меньше высоты барьера ΔU . В противном случае ее кинетическая энергия $p^2/2m = E - \Delta U$ (где p — импульс и m — масса частицы) стала бы отрицательной, а импульс p — мнимой величиной. Однако в квантовой механике ситуация выглядит иначе: если зафиксировать положение частицы в пространстве, то вследствие принципа Гейзенберга импульс становится неопределенным. Поэтому вероятность обнаружения частицы в той области,

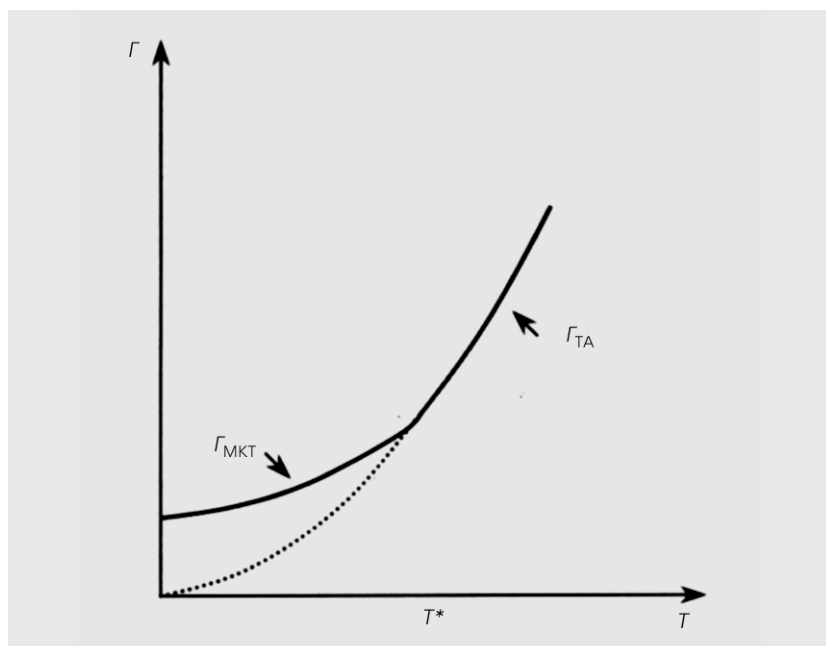


Рис.4. Скорость магнитной релаксации Γ как функция температуры. При высоких температурах перемагничивание частицы происходит благодаря термоактивационным процессам (скорость $\Gamma_{ТА}$ экспоненциально зависит от T), при низких — вследствие макроскопического квантового туннелирования.

которая запрещена с точки зрения классической механики, в частности под потенциальным барьером, уже не равна нулю. Отсюда следует, что не равна нулю и вероятность прохождения частицы через потенциальный барьер конечной ширины. Эта вероятность тем больше, чем уже и ниже барьер и чем меньше масса частицы.

Скорость квантового туннелирования Γ , т.е. вероятность подбарьерного прохождения частицы в единицу времени, зависит от параметров барьера так, что соответствующая формула напоминает соотношение для скорости термостимулированного процесса

$$\Gamma = f_0 \exp(-B). \quad (4)$$

Константа Гамова B в простейшем случае барьера прямоугольной формы толщиной Δx и высотой ΔU равна

$$B = 2\hbar^{-1}(2m\Delta U)^{1/2}\Delta x, \quad (5)$$

где \hbar — постоянная Планка.

Возвращаясь к туннелированию намагниченности, мы видим, что в этом случае также имеется барьер, разделяющий метастабильное и стабильное состояния (рис.1), но по оси абсцисс отложена здесь не реальная координата x , а угловая переменная θ . Теперь нас интересует не перемещение частицы в пространстве, а переориентация магнитного момента или спина частицы через запрещенный, согласно классической механике, интервал углов (чтобы иметь данное направление спина, частице не хватает энергии). Как быть в этом случае? Удобно, как это часто делается в физике, использовать язык аналогий. Естественно сравнить между собой формулы для кинетических энергий поступательного движения $T = m\dot{x}^2/2$ и вращательно-

го $T = J\dot{\theta}^2/2$. Очевидно, аналогами x и t являются θ и момент инерции J ; место потенциальной энергии $U(x)$ в этом случае занимает энергия $E(\theta)$ (1). Эта эвристическая аналогия позволяет легко адаптировать вышеприведенные формулы к случаю туннелирования спина (или магнитного момента).

Важно, что параметрами энергетического барьера (рис.1) для магнитного момента можно управлять при помощи внешнего магнитного поля. Элементарный анализ функции $E(\theta)$, определяемой формулой (1), показывает, что высота барьера равна

$$\Delta U = KV(1 - H/H_c)^2 = KV\varepsilon^2, \quad (6)$$

где введен безразмерный параметр $\varepsilon = (1 - H/H_c)$. Ширина барьера (длина туннелирования) $\Delta\theta$ (см. рис.1) оценивается при $H \sim H_c$ как $\Delta\theta \sim \varepsilon^{1/2}$. Момент инерции практически не зависит от внешнего магнитного поля. Подставляя ΔU и $\Delta\theta$ в (5), получим $B \sim \varepsilon^{3/2}$. Таким образом, манипулируя магнитным полем, можно эффективно уменьшить высоту и ширину энергетического барьера для магнитного момента и создать благоприятные условия для квантового туннелирования.

Точные вычисления дают следующую оценку для константы Гамова [4]

$$B = \frac{4M V \varepsilon^{3/2}}{3\mu_B} \approx \frac{8}{3} \Sigma \varepsilon^{3/2}, \quad (7)$$

где $\Sigma = M/2\mu_B$ — полный спин частицы. Зная ее химический состав, нетрудно связать величину спина Σ с полным числом атомов N в ней. Например, для частицы железа $\Sigma \sim 5N/2$.

Как видно из рис.4, имеется переход (кроссовер) от режима термостимулированной релаксации к процессу квантовой релаксации. Характерную температуру T^* , при которой происходит такой переход, можно определить, приравняв отношение $\Delta U/kT$ в показателе экспо-

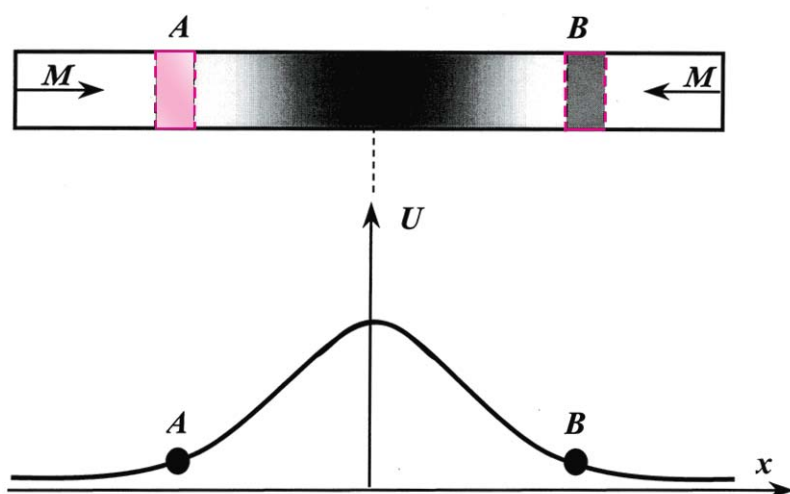


Рис.5. Туннелирование доменной стенки в нанопроволоке из положения А в положение В. Стенка разделяет два домена со встречным направлением вектора намагниченности («head-to-head» — «голова к голове»). Внизу показана соответствующая зависимость энергии от положения стенки. Такой энергетический барьер может возникнуть, например, из-за специально введенного дефекта, вызывающего локальное изменение магнитной анизотропии.

ненты (3) к константе Гамова В. В результате получим для температуры кроссовера

$$T^* = \frac{\Delta U}{k_B} = \frac{3\mu_B K \epsilon^{1/2}}{8kM}. \quad (8)$$

Формулы (7) и (8) определяют оптимальные условия для наблюдения процесса макроскопического квантового туннелирования намагниченности. В частности, для увеличения температуры кроссовера необходимо выбирать частицы достаточно малого размера (≤ 5 нм) из материалов с малой намагниченностью M и высокой энергией магнитной анизотропии.

Редкоземельные магнитные материалы и некоторые ферриты обладают подходящими свойствами. Полагая $M = 300$ Гс, $K = 10^8$ эрг/см³, $R = 4$ нм, получим $B \approx 10^4 \epsilon^{3/2}$. Вблизи поля переключения, когда $\epsilon \sim 2 \cdot 10^{-2}$, константа $B \sim 30$, и температура перехода $T^* \sim 2.5$ К, при этом скорость квантовой релаксации $\Gamma \sim 10^{-2}$ с⁻¹, т.е. квантовое размагничивание такой частицы

происходит примерно в течение минуты.

В рассматриваемом процессе происходит когерентное туннелирование большого числа спинов (N порядка 10^4). Поэтому этот эффект и называется макроскопическим квантовым туннелированием*.

Эффект МКТ наблюдался в последние годы на различных нанообъектах, но наиболее отчетливо — на высокоспиновых металлоорганических магнитных молекулах Mn_{12} , Fe_8 и др. [2]. Его открытие — одно из наиболее впечатляющих достижений физики конденсированного состояния за последнее десятилетие XX в. Этот эффект очень важен для понимания закономерностей перехода от классических представлений

* Макроскопическое квантовое туннелирование изучалось также экспериментально и теоретически в сверхпроводящих переходах Джозефсона. Общим свойством этой сверхпроводящей системы и малых магнитных частиц является то, что при достаточно низких температурах процесс релаксации в них перестает зависеть от температуры.

к квантовой физике — промежуточной области, где до сих пор остается много неясных вопросов. С другой стороны, напомним, что именно наномангниты, с их характерным квантовым поведением, считаются первыми кандидатами на роль материальной базы квантовой информатики — новой научной дисциплины 21-го столетия.

Идея, что туннелировать через потенциальный барьер может не только материальная частица, а некая характеристика квантовой системы (в данном случае магнитный момент), получила дальнейшее развитие. Появились работы, где исследуется туннелирование необычных и весьма сложных «объектов», в качестве которых выступают особенности в распределении поля спиновой плотности в кристалле, пленке, нанопроволоке. Такими особенностями могут быть доменные стенки, солитоны, магнитные вихри, линии Блоха и Нееля [5]. Типичный размер подобных образований 1—100 нм. Их уместно назвать магнитными квазичастицами, так как их динамические свойства напоминают свойства материальных частиц — как и последние, они могут обладать массой, импульсом, энергией, скоростью и т.д. Но в отличие от магнона*, ставшего уже привычной квазичастицей, они описывают нелинейные возбуждения в системе спинов.

Естественно, они могут туннелировать и между состояниями с одинаковой энергией, которые различаются распределениями спиновой плотности, как это показано на рис.5. Возможно даже туннельное рождение магнитных квазичастиц из «вакуума», в качестве которого

* Магنون — квазичастица, введенная для описания элементарных возбуждений в системе взаимодействующих спинов. Она соответствует кванту спиновых волн в магнитоупорядоченных средах, подобно тому, как фонон — кванту колебаний кристаллической решетки.

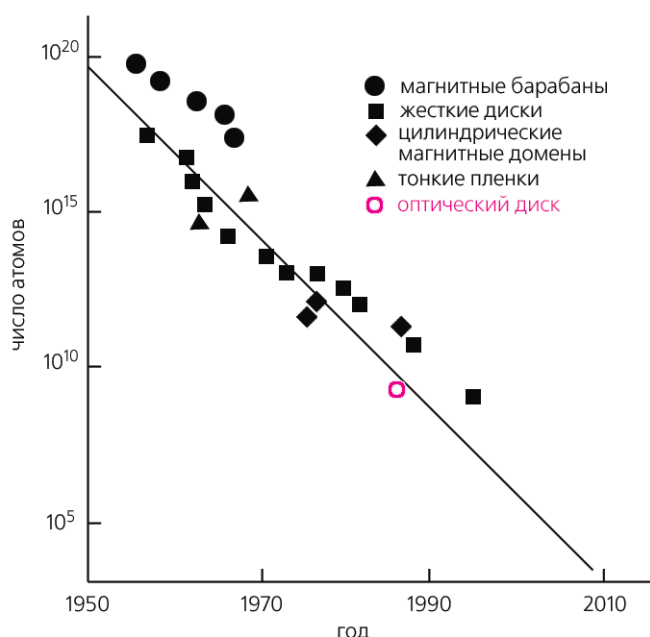


Рис.6. Сокращение числа атомов в запоминающем элементе за последние 50 лет. Прямая линия, соответствующая этой экспоненциальной зависимости, дает экстраполяцию на ближайшее будущее.

в данном случае выступает пространственно однородное распределение спинов. Важно только, чтобы были удовлетворены все необходимые законы сохранения: энергии, импульса, углового момента.

Это очень богатая область, и главные открытия здесь еще впереди.

К магнитной памяти на наноструктурах

Плотность записи информации и быстродействие компьютеров пока возрастают со временем по экспоненциальному закону*. Очевидно, обе величины напрямую связаны между собой, и увеличение первой влечет за собой увеличение второй. Быстрое усовершенствование магнитных носителей за последние годы достигнуто во многом благодаря использова-

* Последнее десятилетие (начиная с 1991 г.) плотность записи информации в магнитных дисках удваивается каждые 18 месяцев.

нию мелкозернистых магнитных сред с малым взаимодействием между зернами. Это обеспечивает низкий уровень шумов и в конечном счете высокие значения плотности записи и быстродействия ($1-2 \cdot 10^7$ бит/см² и $(2 \cdot 10^6-10^9)$ бит/с (скорость считывания). К 2005 г. планируется выйти на 10^9 бит/см² и $2 \cdot 10^9$ бит/с при толщине магнитного носителя около 30 нм [6]. А вообще считается, что на этом пути можно достичь плотности записи до 10^{10} бит/см², что ограничивается минимальным размером запоминающего элемента («размером бита информации») ~ 10 нм.

Стратегия повышения плотности информации основана на концепции «отдельная частица — один бит информации». Это означает, что запись бита должна производиться в отдельную частицу магнитного носителя. При этом магнитная память ближайшего будущего рассматривается как система слабо связанных между собой частиц.

Такой магнитный носитель информации называют квантовым диском.

Рис.6 показывает, как изменялся характерный размер элемента памяти за последние 50 лет [4]. Фактически по оси ординат здесь отложено число атомов в запоминающем элементе. В ближайшем будущем (при размере зерна порядка 10 нм), как мы видим, вступают в действие ограничения, связанные с тепловыми флуктуациями. Число атомов в элементе будет настолько малым, что элемент станет нестабильным относительно тепловых флуктуаций при комнатной температуре и память придется охлаждать, чтобы понизить скорость спонтанного термостимулированного переключения элементов. На следующем этапе придется учитывать ограничивающее влияние квантовых флуктуаций, т.е. спонтанных переключений путем макроскопического квантового туннелирования.

Рассмотрим конкретный пример. Пусть время хранения информации равно 30 годам ($\sim 10^9$ с), т.е. необходимо обеспечить $\Gamma < 10^{-9}$ с⁻¹. Если $f_0 \sim 10^9$ с⁻¹, то $B = \ln(f_0/\Gamma) > 40$. Из формулы (7) следует, что это достигается при числе спинов $N \sim 10$. Если согласиться с экстраполяцией, показанной прямой на рис.6, такие условия могут реализоваться уже во втором десятилетии XXI в. Конечно, эти временные рамки могут несколько сместиться при переходе к другим носителям информации.

В этом рассказе о магнитных наноструктурах мы коснулись лишь их индивидуальных свойств, оставив в стороне свойства больших систем, представляющих собой ансамбли из таких нанообъектов. К ним относятся и структурно организованные ансамбли, хорошо известным примером которых служат магнитная память, и упомянутые выше различные ультрадисперсные среды.

Физика таких наноконструктивных материалов и структурированных ансамблей, конечно, существенно зависит от индивиду-

альных свойств составляющих их наночастиц, но часто возникают общие черты в поведении материалов, обусловленные вза-

имодействием между частицами. И одним из основных понятий становится «самоорганизация», однако это уже другая история. ■

Литература

1. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. М., 1965.
2. Звездин А.К. Магнитные молекулы и квантовая механика // Природа. 2000. №12. С.11—19.
3. Звездин К.А. // ФТТ. 2000. Т.42. №1. С.116—120.
4. Gunter L. Quantum tunneling of magnetization // Magnetic properties of fine particles / Eds. J.L.Dormann, D.Fiorani. Amsterdam, 1991.
5. Добровицкий В.В., Звездин А.К., Попков А.Ф. // Успехи физ. наук. 1996. Т.166. №4. С.439—447.
6. Simonds J.L. // Phys. Today. 1995. V.48. №4. P.26—32.

Камейдосков

Ханфордский реактор окончательно остановлен

В 1980 г. в Ханфорде (штат Вашингтон) вступил в строй крупный исследовательский ядерный реактор-размножитель. Спустя 13 лет специальная комиссия приняла решение о нецелесообразности его дальнейшего использования ввиду дороговизны эксплуатации. Тогда Министерство энергетики США, кому принадлежит эта установка, попыталось переориентировать ее на изготовление радиоактивных изотопов, применяемых при лечении раковых заболеваний, а также на производство плутония ^{238}Pu , необходимого для энергоснабжения космических зондов.

Однако в ноябре 2000 г. власти приняли решение окончательно закрыть реактор: чтобы заново запустить его на полную мощность, потребовалось бы 314 млн долл., а эксплуатация должна обходиться в 80 млн долл. в год (Science. 2000. V.290. №5497. P.1667. США). Такие средства у министерства на подобные цели отсутствуют. Однако взамен планируется теперь построить значительно менее дорогой источник нейтронов, с помощью которого предполагается вырабатывать

третий — короткоживущий изотоп водорода, применяемый как для мирных целей, так и для производства ядерного оружия. Место размещения реактора еще не выбрано. Проектом предусматривается сооружение устройств, позволяющих превращать высокорadioактивные отходы в менее опасные побочные продукты.

Руководство Национального агентства США по авиации и космическим исследованиям (НАСА) обеспокоено тем, будут ли удовлетворяться его потребности в ^{238}Pu . Оппоненты указывают, что НАСА в скором времени сможет перейти на использование батарей нового типа, для которых достаточно 2—3 кг плутония, а такое небольшое количество можно закупить в России по цене «всего» 10 млн долл. за 1 кг.

Решение о закрытии реактора приветствовали природоохранительные организации северо-запада США¹.

Реконструкция научной базы США на Южном полюсе

Антарктическим летом 2000 г. началась реконструкция станции «Амундсен—Скотт»,

¹ См. также: Брукхейвенский экспериментальный реактор остановлен // Природа. 2000. №11. С.87.

находящейся на Южном полюсе. После 10 лет проектных работ строители приступили к первому этапу — надстраиванию центрального купольного здания (Geotimes. 2000. V.45. №12. P.9. США).

Научная база, завершение реконструкции которой намечено на 2005 г., сможет, по словам П.Уэста (P.West), сотрудника Национального научного фонда США, обеспечить работу и проживание 200 полярников. Старое здание еще на стадии проекта рассчитывалось на прием 33 полярников-мужчин, но за 30 лет эксплуатации в нем работали и жили специалисты обоих полов. Надстройка купольного здания, которое заносится снежными метелями, а еще и оседает, по мнению Уэста, значительно увеличит вместимость базы.

В бюджете работ (152,9 млн амер. долл.) предусмотрено также создание новой энергетической установки мощностью 1 МВт, что позволит значительно расширить парк компьютеров, телескопов и другого научного оборудования. Антенна с тарелкой диаметром 9 м обеспечит круглогодичную связь базы с коммерческим спутником MARISAT-F2 и спутником Национального научного фонда GOES-3.

Ребята с улицы Панисперна

К 100-летию Энрико Ферми

Карло Бернардини

От переводчика

В сентябре исполняется 100 лет со дня рождения одного из наиболее крупных физиков XX в. Энрико Ферми. Предлагаемые отрывки из книги Карло Бернардини познакомят читателя с историческими событиями и персоналиями, связанными с жизнью выдающегося ученого, но малоизвестными в России (как, впрочем, и в Италии). Сама по себе книга, которая называется «Физика в итальянской культуре XX в.» (Bernardini Carlo. *La fisica nella cultura italiana del Novecento*. Roma, 1999), посвящена не столько Ферми, сколько общей оценке роли физики в итальянской культуре, и в ней нет его биографии. Поэтому мы дополним публикуемые фрагменты основными фактами биографии великого физика, воспользовавшись очерком, написанным Эдуардо Амальди для энциклопедии «*Scienziati e Tecnologi Contemporanei*» (1974).

Энрико Ферми родился 29 сентября 1901 г. в Риме в семье железнодорожного служащего Альберто Ферми и его супруги Иды де Гаттис. Интерес к математике и физике проявился у Энрико уже в десятилетнем возрасте. В 1918 г. он поступил на физическое отделение Пизанского университета. Защитив диплом в 1922 г., Ферми проходит шестимесячную стажировку в Геттингене, у Макса Борна, где знакомится с В.Гейзенбергом, В.Паули и П.Иорданом. После Геттингена Ферми читает курс лекций по математике в Римском университете, а осенью 1924 г. отправляется на трехмесячную стажировку в Лейден, где работает с П.Эренфестом, С.Гаудсмитом, Р.Кронигом, Г.Уленбеком. С 1924 по 1926 г. он преподает математическую физику и механику в Университете Флоренции.

Первая встреча Ферми с директором Института физики Римского университета Орсо Ма-



Карло Бернардини, профессор Римского университета «La Sapienza», специалист в областях ядерной и математической физики. Главный редактор итальянского научно-популярного журнала «*Sapere*». В последние годы занимается историей науки.

рио Корбино состоялась еще в 1922 г. Ферми поразила Корбино обширностью и глубиной знаний. В 1926 г. при его активном содействии Ферми получает кафедру теоретической физики Римского университета. Эта кафедра располагалась в Институте физики на улице Панисперна (только в 1936 г. институт будет переведен в здание физического факультета на основной территории университета, где он находится и по сей день). С 1926 г. под руководством Ферми

начинает формироваться и работать знаменитая группа итальянских теоретиков и экспериментаторов, наиболее известными из которых стали Эдуардо Амальди, Этторе Майорана, Эмилио Сегре, Франко Разетти и Бруно Понтекорво. Этих пятерых вместе с Ферми и имеют в виду, когда говорят о «ребятах с улицы Панисперна». Группа просуществовала до 1938 г., и это был золотой период в истории итальянской физики.

В 1926 г. Ферми заканчивает работы по статистической квантовой механике частиц с полужелтым спином (электронов), и в теоретической физике возникают такие понятия, как статистика Ферми и фермионы. Затем появляются атомная модель Томаса—Ферми и фундаментальные работы по квантовой теории поля.

В.Д.Белинский

Кто должен писать историю физики?

Однажды, не так уж много лет назад, Эдуардо Амальди сказал мне, что серьезно озабочен судьбой многочисленных документов, связанных с историей физики, которые годами накапливались в нашем отделе. Его комната на втором этаже корпуса «Маркони», расположенного в Римском университетском городке, была битком набита архивными бумагами, а стены увешаны фотографиями друзей и письмами некоторых его знаменитых иностранных коллег.

В определенном смысле Амальди, которого все в институте дружески называли «папа», должен был обладать инстинктивной психологической сопротивляемостью по отношению к любой работе в области истории физики: строгая школа Ферми и Разетти не допускала отвлечения от чистой исследовательской деятельности. История считалась задачей других, а для физика — просто потерей времени. Но Амальди не нравилась история, сделанная другими: слишком далека от жизни, слишком далека от физики. То, что Леонардо Шашья* написал об Этторе Майоране, взволновало его чрезмерно, я до сих пор

помню резкие слова, сказанные им после выхода в свет книги. В другой раз он попросил меня пойти с ним на предварительный просмотр фильма «Ребята с улицы Панисперна» режиссера Д'Амелио, чтобы, как он выразился, «не давать волю своей вспыльчивости без свидетелей» (он давал волю вспыльчивости до тех пор, пока ему не было обещано убрать фальшивую слащавость).

В итальянской культурной жизни наука никогда не имела особого значения. Достижения физики или математики, а также биологии или геологии, отстояли весьма далеко от повседневных интересов общества. Образования, приобретаемого в школе второй ступени, в действительности недостаточно для понимания сути этих наук. Именно поэтому Амальди видел необходимость в такой разносторонней фигуре, как физик-историк (то же можно сказать и в отношении математика или биолога). Речь шла о том, что история может быть одним из занятий исследователя старшего поколения, богатого опытом, но уже не настолько продуктивного, как в молодые годы, и он сам имел вкус к этому.

В отличие от большинства из нас Амальди был также «политиком от науки», одним из тех, кто предопределяет будущее благодаря своей интуиции исследователя. Он понимал связь такой способности со знанием истории: ему было известно, что предназначение Института определили еще сто лет назад Пье-

тро Блазерна и затем Орсо Марио Корбино, выдающиеся организаторы науки. Он также знал, что Италия — страна безразличная и даже в какой-то степени сознательно враждебная к наукам, и причины этого следует искать в рамках легкомысленного мира светских гостиных: для них науки были холодны и удалены от чувств и страстей, от больших проблем этики, права, политики. Физика или математика в Италии иногда даже подозревали в обладании мистическими силами зла, в способности покушаться на жизнь с помощью невидимых средств, в изобретении жестких методов решения вечных и неразрешимых социальных проблем. Его мышление казалось механистическим, не отвечающим человеческим правилам, толкающим в объятия робота. Разные люди (философ, журналист, романист — неважно кто) говорят о науке каждый по-своему, но в большинстве случаев как о чем-то отстраненном, как о делах другой, чуждой цивилизации. Многие даже и не подозревают, что в физических или математических результатах, возможно, как ни в каких других, содержится огромная доза высокоорганизованного мышления.

Физики в начале столетия

История развития римской физической школы, если говорить о ней как о чем-то отстра-

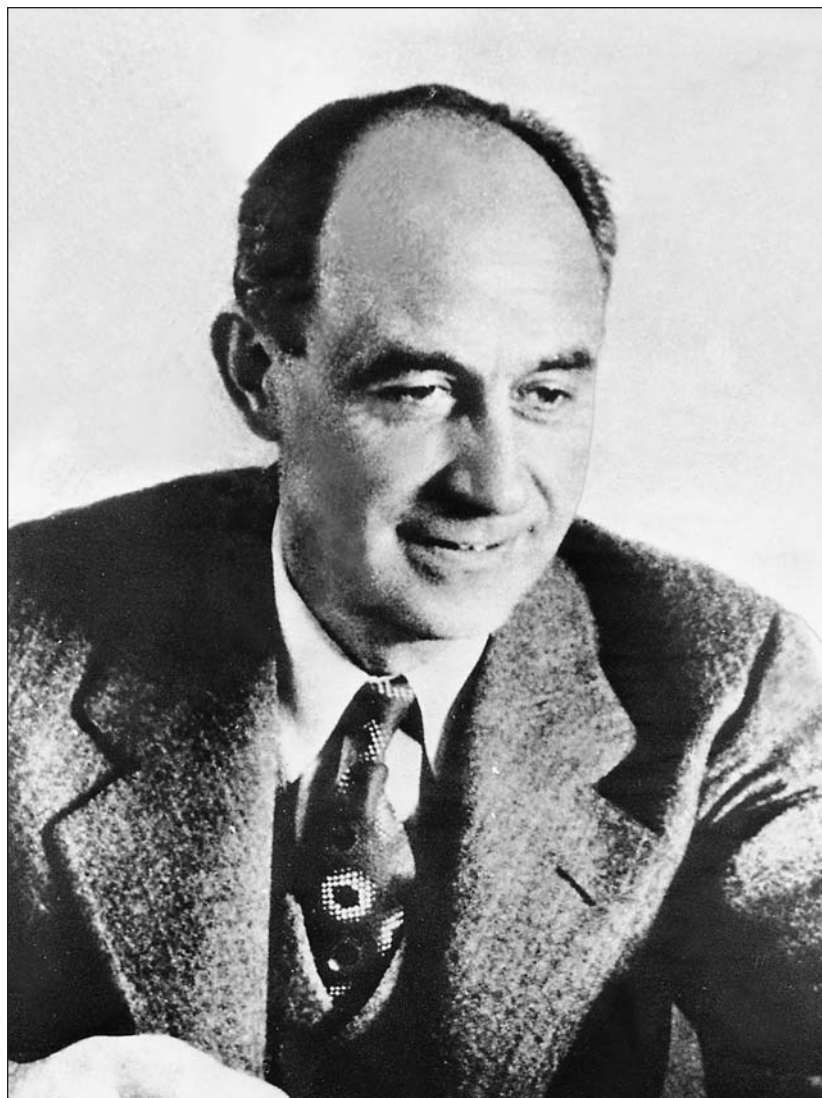
* Леонардо Шашья (1921—1989) — писатель и общественный деятель, родился в Сицилии и много писал о ней. Роман, о котором идет речь, назывался «Исчезновение Майораны» (1974). Э.Майорана тоже был сицилийцем, он родился в Катании в 1906 г. и бесследно исчез в 1938 г. (Примеч. переводчика.)

ненном, неизбежно примет характер легенды. Вначале был Пьетро Блазерна, который родил Орсо Марио Корбино, который родил Энрико Ферми, который родил Эдуардо Амальди, который родил... И здесь мне лучше прерваться, потому что, возможно, нам понадобится еще несколько веков, пока мы сможем поставить в этом вопросе точку.

Кто был Пьетро Блазерна? Есть много письменных биографических свидетельств, последнее из которых обязано Амальди (еще не опубликованный черновой набросок) и содержит отрывочные сведения, которые собирались, по-видимому, в течение многих лет. Блазерна (1836—1918) был вдохновителем и строителем того самого Института на улице Панисперна, который уже стал легендой благодаря событиям, имевшим международную значимость (и не только научную). Создание знаменитого Института началось в 1877 г. и закончилось в 1880-м. Тем временем Блазерна прошел весь путь вверх по лестнице должностей и почета: президент факультета, ректор, сенатор Королевства и вице-президент Сената, президент Академии дей Линчей, секретарь Общества Сорока*, генеральный секретарь Международного комитета мер и весов. Амальди пишет: «Хотя научные труды Блазерны и скромны, его влияние на научную культуру в нашей стране в период первых 30 или 40 лет существования Итальянского Королевства было без всякого сомнения достаточно значительным».

Легко проследить, как именно проявлялось это влияние. У Блазерны было значительное количество учеников, рассеявшихся по полуострову. Он установил хорошие международные контакты и курировал внутрен-

* Общество Сорока — вторая (наряду с Академией дей Линчей) национальная научная академия Италии. По уставу, в нее могут входить не более 40 членов. (Примеч. переводчика.)



Энрико Ферми.

нюю политику научных работ, привлекая к ним внимание и прививая к ним уважение итальянских властей. Он учредил то, что сегодня называется институтскими семинарами. Окружил себя знающими помощниками и основал настоящую династию квалифицированных руководителей и администраторов, в начале которой среди прочих был Лодовико Меда (1842—1907), бывший конный карабинер, которого сменил его зять Аугусто Занки, а затем сын последнего Лодовико Занки (умерший в возрасте 100 лет почти одновременно с Эдуардо

Амальди и известным многим поколениям физиков под кличкой Рыцарь). Но шедевром Блазерны несомненно был тот самый Институт на улице Панисперна, 25-летний юбилей которого торжественно отмечался в 1905 г. в присутствии министра Паоло Боселли и который послужил моделью «научного заведения», разработанной вплоть до мелких деталей.

Начиная с этого времени физические исследования в Италии перестают быть занятием индивидуалов и приобретают общенациональный характер, хотя и по сей день в историчес-



Здание Института физики на улице Панисперна.

ких трудах некоторых выдающихся современных гуманистов, изучавших становление нашей цивилизации, все еще нельзя найти никаких указаний на события и персонажи из области науки. Несомненно, что значительная часть вдохновения, приобретенного физическими исследованиями, обязана тому факту, что один из учеников Пьетро Блазерны, Орсо Марио Корбино (1876—1937), унаследовал от него стиль, широту взглядов и способность собрать вокруг себя первоклассных молодых ученых (так называемых «ребят с улицы Панисперна», известных под этим именем даже в светских хрониках). Понадобилось немного времени, чтобы это было признано и в международных кругах.

30-е годы

Рост сообщества физиков и математиков в Италии продолжался до 20-х годов исключительно многообещающе. Однако с приближением очередного десятилетия постепенно вырисовывалась катастрофа, обусловленная, по-видимому,

многими взаимно сопутствующими причинами, предвидеть которые ученым было трудно. К концу первой мировой войны ситуация была такова: Орсо Марио Корбино в 1918 г. заменил Блазерну и вскоре окружил себя гениальными молодыми людьми, едва перевалившими за двадцать, начиная с Энрико Ферми (1901—1954) и Франко Разетти (род. 1901) и последовавшими вскоре за ними Этторе Майораной (1906—1938), Эмилио Сегре (1905—1987), Эдуардо Амальди (1908—1989), Бруно Понтекорво (1913—1994). Не что подобное происходит во Флоренции у Антонио Гарбассо, создающего коллектив, часть которого составляют Бруно Росси (1905—1993), Джилберто Бернардини (1906—1995), Джузеппе Оккиалини (1907—1993) и в контакте с ними, но в других местах, Энрико Персико (1900—1969), Джулио Рака (1909—1965), Джанкарло Вик (1909—1992). В действие включается также математик Вито Вольтерра (1860—1940), благодаря которому руководство научными исследованиями централизуется, ему удается осуществить это свое намерение око-

ло 1923 г. посредством основания Национального совета по исследованиям (CNR), первым президентом которого он и становится.

До 1921 г. должность министра народного образования занимает Бенедетто Кроче*, затем его сменяет Орсо Марио Корбино, который, продолжая придерживаться гражданских и либеральных традиций, избегает тем не менее противостояния с партией Муссолини, пробивающего себе дорогу в итальянской политике. Возможно, благодаря этой осмотрительности группа с улицы Панисперна не ощущала вмешательства политики, от которой она без труда держалась в стороне почти до 1938 г., когда (сразу после смерти Корбино) поднялся вал событий, инициированный появлением расистских законов. Математики открыто противостояли новой политике, в частности Вольтерра, который вдобавок к тому находился под специальным надзором полиции по причине заявленной им антипатии к фашизму. Именно в связи с этим еще в 1926 г. он оставляет пост президента CNR в пользу национальной «священной коровы» Гульельмо Маркони (1874—1937), которого представляют как выдающегося са-моучку.

Фашизм и расизм

Фашистский режим не относится заведомо враждебно к научным исследованиям, тем более если они посвящены решению проблем, важных для него самого. Не было националистических попыток установить «итальянскую науку» по немецкому образцу и попыток утвердить этническое превосходство. Однако дело существенно ос-

* Бенедетто Кроче (1866—1952) — философ, историк и критик, занимался также политикой, некоторое время симпатизировал фашизму, но в 1925 г. перешел в оппозицию, издав «Манифест антифашистской интеллигенции». (Примеч. переводчика.)

ложняется, когда итальянские фашисты решают содействовать нацистским расовым преследованиям, проводя их также и у себя дома против итальянских граждан еврейской национальности.

Корбино в 1923 г. принимает министерство экономики, а министерство народного образования переходит к Джованни Джентиле*, который не скрывает своей склонности рассматривать научную деятельность только в плане ее практической полезности на благо страны. Последствия подобных представлений о культуре вскоре дают знать о себе: в 1931 г. исчезает Комитет по математике CNR. Вольгерра отказывается (вместе всего лишь с 11 другими профессорами из примерно 1200) дать присягу верности режиму и вынужден покинуть сцену, будучи освобожденным от должности с 1 января 1932 г. «по причине несоответствия общим политическим директивам правительства». Он умер 11 октября 1940 г., как было объявлено Римским управлением полиции: «Сегодня утром, в 4 час 30 мин, в своей квартире по улице Лучина, 14 скончался сенатор Вито Вольгерра, сын Абрама, еврейской расы».

Грубая и тяжелая рука таких режимов, как нацистский, фашистский или коммунистический, для которых потребность в культуре вытекает из идеологических предпосылок, ведет к драматическим последствиям, например перемещению центра европейского научного интеллекта в Соединенные Штаты в 30-е годы. Режиму были удобны в основном люди скромных способностей, первоклассные же мозги изгонялись по расовым или политическим мотивам.

В 1937 г. Ферми, питая некоторую надежду на внимание со



У стен института: О.Д'Агостино, Э.Сегре, Э.Амальди, Ф.Резетти, Э.Ферми.

стороны правительства, попытался добиться организации Института ядерной физики в составе CNR. Это предложение сопровождалось письменной поддержкой от Резетти, Антонио Карелли и Альфредо Покеттино, которые горячо поддержали его также и от имени Итальянского общества содействия прогрессу наук, мотивируя тем, что радиоактивные материалы имеют многочисленные применения в различных областях (это обстоятельство было подчеркнуто с целью вызвать интерес со стороны режима). Начальные расходы были оценены в 230 000 лир плюс еще 300 000 лир в течение двух лет непосредственно для работы. Речь шла о цифрах, сравнимых с соответствующими расходами в других странах,

но они предусматривали одно более существенное обязательство, а именно строительство циклотрона для возмещения недостатка в бедных в то время источниках нейтронов. Не исключено, что по причине отказа Ферми начал думать об эмиграции, что вскоре и произошло. Случай представился, когда ему была присуждена Нобелевская премия. Мотивы бегства перемешиваются.

Наиболее известный — еврейское происхождение его жены Лауры Капон, но отсутствие хороших средств для работы также имело свое значение. 25 июля 1938 г. фашистская партия, следуя Манифесту, изданному учеными-расистами, приступает к утверждению ряда законов, ограничивающих граж-

* Джованни Джентиле (1875—1944) — философ и политик, реформатор общеобразовательной школы в Италии, активный сторонник фашистского режима. Убит в 1944 г. одной из партизанских «групп действия». (Примеч. переводчика.)



Пьетро Блазерна.

данские права евреев. Немедленно оказываются под ударом (работавшие в качестве профессоров, внештатных преподавателей и ассистентов) физики Бруно Росси, Эмилио Сегре, Джулио Рака, Джорджо Тодеско (профессор в Перудже), Серджо де Бенедетти, Уго Фано, Лоренцо Емо Каподилиста, Лео Пинкерле, Нелла Мортара и Евгению Куриел. В убежище во Франции уже находился Бруно Понтекорво, а Разетти, хотя и не испытывал преследований со стороны закона, удалился в добровольное изгнание в знак протеста. Как писала Лючия Орландо [1], среди физиков эмиграция была массовой в отличие от математиков (в основном более старых, которые в большей своей части решили остаться и усилить помощь тем евреям,

которые не имели возможности укрыться за границей). Число итальянских ученых в ранге полного профессора, отстраненных от должности на основании расовых законов, составило 27 (в это число не входят медики), что представляет заметную долю от общего числа уволенных (96).

Физики, собранные Корбино и Гарбассо, выстояли вплоть до появления расистских законов, развернув замечательные работы перед тем, как рассеяться. И только благодаря терпеливой стойкости Эдуардо Амальди удалось преодолеть период от 1938 г. до конца второй мировой войны, призвав к работе новую молодежь, успевшую заразиться духом улицы Панисперна. Эти усилия и вывели в конце концов итальянцев на междуна-

родный уровень в физике. Вероятно, сыграл свою роль и возраст физиков: сорок лет или меньше на момент трагедии. С математиками было хуже: наиболее заметные из них, старшие по возрасту и уже находившиеся на ответственных должностях (как Вольтерра), не могли держаться в стороне от политической бури с самого ее начала (конец 20-х годов), в то время как более молодых, поставленных перед перспективой смены списка руководящего состава, можно было соблазнить с легкостью (как это случилось с Франческо Севери или Мауро Пиконе). В результате к концу войны крупные математики или уже скончались или были слишком стары, а более молодые и их ученики не имели той приверженности делу, которая гарантировала бы незапятнанную преемственность.

Служебная записка

Милан,

26 декабря 1938 г.

Ходят слухи, и довольно распространённые, о том, что академик Ферми, используя свой визит в Стокгольм для участия в премировании нобелевских лауреатов, в число которых вошел и он, не вернется больше в Италию и оставит за границей полученную им премию в кронах.

Эту новость, которую считают полностью достоверной, связывают с чрезвычайно бедной информацией, имевшейся в то время, когда академику была присуждена престижная премия. Многие отмечают, что итальянскому правительству целесообразно было бы издать в связи с этим соответствующее распоряжение, последовавшее примеру Германии, которая запретила своим гражданам принимать премии от академий и институтов демократических стран. По мнению других, напротив, репутация итальянской прессы попала бы

в зависимость от сомнительной славы весьма посредственного фашиста, которой пользовался Ферми: режиму было бы желательно присуждение премии другим фашистским ученым, но норвежский Стортинг (*sic*) возразил бы, что премия вручается ученому, а не ученому-политику.

Я доведу до сведения эту информацию, поскольку она может представлять интерес.

Министерство внутренних дел,
Главное управление
государственной безопасности,
Отделение политической
полиции,
дело Ферми Энрико [2].

Физика нейтронов

Событием, определившим в начале 30-х годов судьбы итальянской физики, был тот стратегический выбор, который сделала римская группа Ферми и который поддержал Корбино. Эдуардо Амальди поместил в специальном номере «Physics Reports» очень подробный рассказ об этом, очертив то место, которое занимал этот выбор в общей научной панораме эпохи. Нелегко воспроизвести все факты в нескольких словах, но я попробую.

Начиная с 1900 г. физика вступает в фазу потрясающих открытий, быстро отдаляющихся от того простого здравого смысла, которым могли бы воспользоваться люди, в общем «образованные», для их адекватной оценки. Как раз когда уже казалось, что предыдущий век завершился успехами (электромагнитная теория Максвелла, классическая термодинамика, аналитическая механика), не оставлявшими места для каких-либо существенно новых открытий, некоторые трещинки в здании, выглядевшие ранее безобидными, начали принимать гигантские размеры. Возникают неувязки на стыке термодинамики и электромагнетизма, именно там, где благодаря вза-



Орсо Марио Корбино.

имному обмену энергией электромагнитное излучение перемещается с веществом, находящимся в тепловом равновесии. Это так называемая проблема «черного тела», над которой работали многие, и в частности Макс Планк.

Возникают также неувязки на границе между механикой и электромагнетизмом, там, где общепринятые понятия пространства и времени приводят к необходимости ввести призрачный «космический эфир», если продолжать интерпретировать предсказания теории Джеймса Клерка Максвелла в терминах механики. Здесь работали многие в поисках понимания (в действительности в поисках способа подогнать под обычные понятия необычные результаты) и среди них

(но не в духе консерваторов) Альберт Эйнштейн и Анри Пуанкаре.

В Италии мало что происходит в этот период: исследуются некоторые вопросы электромагнетизма и в связи с этим оптические явления и оптическая спектроскопия. Так случилось, что на протяжении первых 25 лет XX в. родились одновременно атомные модели и квантовая теория, а также сначала специальная, а затем общая теории относительности. Римская и флорентийская школы впитывают все это, но пока еще на студенческом уровне или ненамного выше.

Однако в конце 20-х годов Ферми уже вносит свой вклад работами (в области электродинамики и статистической механики), получившими извест-

ность. В литературе появляются статистика Ферми—Дирака и атомная модель, известная под именем Томаса—Ферми, которая до сих пор используется во многих приложениях. Именно Италия устраивает у себя в 1927 г. в Комо один из наиболее важных международных конгрессов века, конгресс, который символизирует переход от старой физики к новой (с участием виднейших представителей мировой науки и с некоторыми важными итальянскими докладами, такими, например, как сообщение Туллио Леви-Чивита об адиабатических инвариантах).

Модель атома, которая согласуется с экспериментами, проделанными Эрнстом Резерфордом в Кавендишской лаборатории (Кембридж), указывает на существование атомного ядра, «предмета» тяжелого, но неуловимо малых размеров. И тем не менее в нем сосредоточены необычные эффекты, такие как радиоактивность, открытая Анри Беккерелем и изучавшаяся супругами Кюри. Атомное ядро кажется последней границей, еще доступной нам в микромире, на вершине же макромира вместе с Эйнштейном находятся астрофизики и космологи, имеющие дело с галактиками и целой Вселенной. Итальянцы отстают, их исследования все еще достаточно традиционны. Когда же и они решают вмешаться в драку, то в качестве стратегической цели выбирают атомное ядро. Идет начало 30-х.

Физика ядра в 30-х годах проделала большой путь. Естественная радиоактивность классифицируется по так называемым типам α , β и γ , имеющим различные особенности. Тип, обозначаемый β , необычен, поскольку связан с существованием трудно обнаруживаемой частицы нейтрино, предсказанной Вольфгангом Паули. В 1932 г. Джеймс Чэдвик, ученик Резерфорда, открывает одну из составных частей ядра — нейтрон. Во всем мире идут оживленные дискуссии о природе сил, сдер-

живающих ядро, которое представляется уже не просто тяжелой и неуловимой точкой, а сложной системой, состоящей из протонов и нейтронов. В дело вмешивается Этторе Майорана с предложением, которое известно и сейчас под названием обменных сил Майораны. Такому выдающемуся интеллектуалу, как Майорана, одному из наиболее блестящих физиков-теоретиков того времени, преждевременно и таинственно ушедшему из жизни в 1938 г., надо было бы посвятить подробное жизнеописание (менее фантастическое, чем то, которое произвел на свет в форме романа Леонардо Шашья).

Энрико Ферми выдвигает в 1933 г. свою теорию сил, ответственных за β -распад и называемых сегодня слабыми взаимодействиями, для того времени правильную, к которой снова вернутся лишь 40 лет спустя в рамках объединения слабых и электромагнитных взаимодействий, теорию, породившую постоянную Ферми, служащую мерой малой интенсивности этих взаимодействий.

Группа уже действует, когда из Парижа приходят первые результаты супругов Фредерика Жолио и Ирен Кюри: они получили новые радиоактивные ядра путем бомбардировки стабильных ядер α -частицами. Наступает март 1934 г. Ферми консультируется с Разетти, и они вместе решают, что стоит попытаться получить те же результаты, используя нейтроны вместо α -частиц. Нейтроны обещают быть намного более эффективными по причине их электрической нейтральности, что позволяет им сталкиваться с ядрами на более близких расстояниях, не испытывая электростатического отталкивания, какое имеет место в случае α -частиц. Мобилизуется вся группа, профессор Джулио Трабаки из физической лаборатории Института здравоохранения предоставляет природные источники нейтронов подходящей интенсивности, присоеди-

няется химик Оскар Д'Агостино, ученик Трабаки, временно отосланный в парижскую лабораторию мадам Кюри (откуда возвращается по просьбе Ферми). К июлю того же года систематическое исследование элементов периодической таблицы Менделеева сильно продвинулось: получено наблюдение радиоактивности (искусственной), наведенной бомбардировкой нейтронов. Эта радиоактивность классифицирована, по крайней мере «в общих чертах». Резерфорда информирует об этом Ферми посредством переписки, а Амальди и Сегре лично, во время посещения ими Кавендишской лаборатории.

Требуются, однако, более точные измерения: недостаточно сказать, что радиоактивность слаба или сильна. Выполнить их поручается Амальди и Понтекорво (только что получившему диплом). Их результаты не удается воспроизвести, «происходит нечто странное». 22 октября 1934 г., в то время как все заняты перепроверкой, Ферми неожиданно решает отфильтровать нейтроны с помощью парафина. Персико, оказавшийся в Риме, становится единственным свидетелем. После полудня и вся группа знакомится с эффектом фильтрации. Ферми во время обеда уже выработал объяснение — замедление нейтронов за счет столкновений с легкими ядрами. Измерения снова повторяются в знаменитом бассейне красных рыб на улице Панисперна, и вечером того же дня в доме у Амальди пишется статья для «La Ricerca Scientifica» (служанка потом спросит Джинестру Амальди, жену Эдуардо, не были ли гости случайно пьяны). Так появляется работа, датированная 22 октября, «Действие водородсодержащих веществ на радиоактивность, вызванную нейтронами» за подписью Ферми, Амальди, Понтекорво, Разетти, Сегре. Международное признание не обойдет Ферми, в 1938 г. он получит Нобелевскую премию. Можно с улыб-

кой вспомнить, как написал Лодовико Занки в своей полной симпатии заметке, опубликованной в 1979 г., что группа приняла прозвища, отражающие роль каждого: Корбино был Богом, Ферми — Папой, Разетти — Кардиналом-Викарием*, Майорана — Великим инквизитом, Трабакки — Божественным провидением, Амальди и Сегре — Аббатами, а Персико — Кардиналом Миссионером.

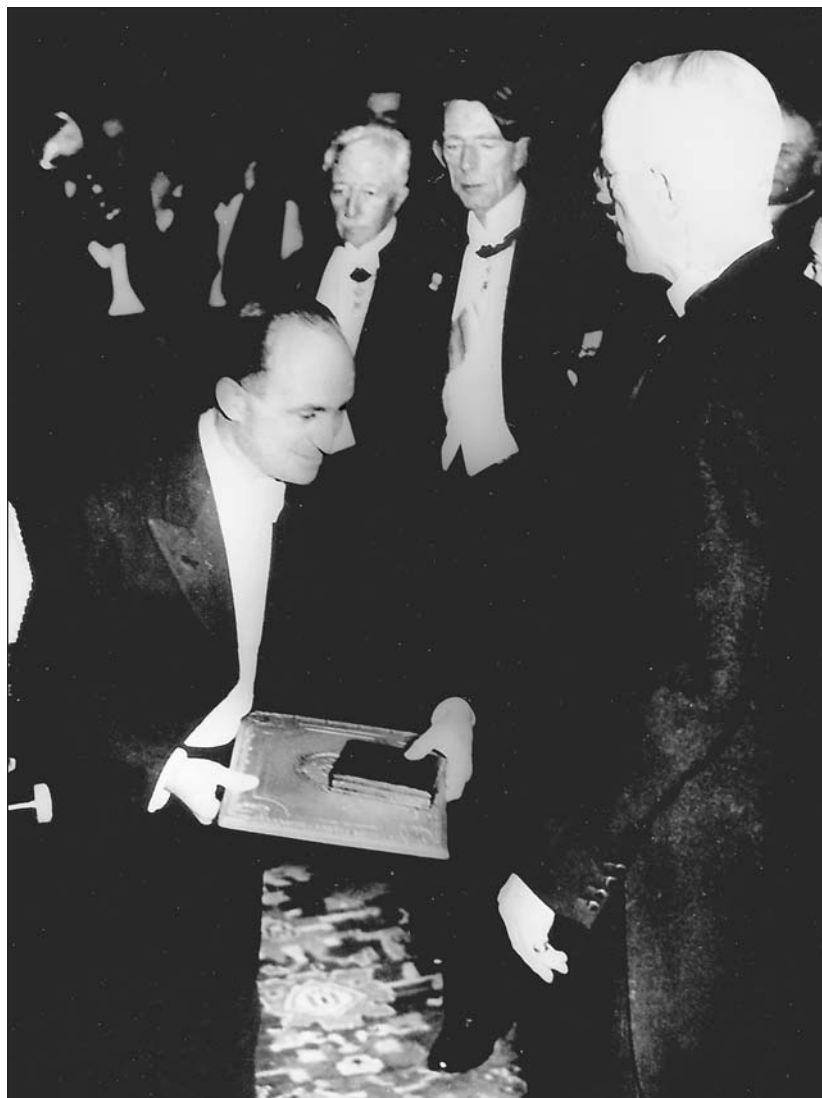
Амальди пишет: «То, что мы нашли, было методом получения искусственных радиоактивных веществ, достаточно эффективным для того, чтобы стоимость этих веществ оказалась существенно ниже стоимости природных радиоактивных материалов» [4]. Ясно, что речь шла об открытии первостепенной важности для медицинской терапии и для применений веществ, оставляющих радиоактивные следы, в физике, химии и биологии. Корбино, как только узнал об этом, предложил оформить патент. Так появился итальянский патент за № 2 324 458 от 26 октября 1934 г. В дальнейшем он появился и в других странах. После войны возникли трения с американской федеральной администрацией, которые завершились летом 1953 г. выплатой «соответствующей компенсации» за применение открытия в области использования ядерной энергии — 400 000 долл. (24 000 долл. на душу, после всех побочных расходов)**.

Катастрофа итальянской физики

Это запись несомненно драматических воспоминаний Амальди. Они прозвучали в его речи, произнесенной на собрании, посвященном перспекти-

* Те. наместником Папы. (Примеч. переводчика.)

** Причина этих трений в основном была вызвана нежеланием американских властей платить гонорар также и Бруно Понтекорво, эмигрировавшему в Советский Союз. (Примеч. автора для русского перевода.)



Ферми в момент вручения ему Нобелевской премии.

вам фундаментальной физики и состоявшемся в Институте Г.Маркони Римского университета с 5 по 10 сентября 1978 г.

«Поезд с семьей Ферми отбыл от станции Термини в Стокгольм вечером 6 декабря 1938 г. Франко Разетти, моя жена Джинестра, некоторые из их родственников и я стояли на перроне, прощаясь, и затем разъехались по домам.

По пути я смотрел на людей, которые, естественно, ничем этим не были озабочены, но я знал, мы все знали, что этим ве-

чером несомненно закончился очень краткий период в истории цивилизации в Италии, период, который мог бы продолжаться и развиваться и, возможно, имел бы обширное влияние на университетскую среду, а с течением времени — и на всю страну.

Наш маленький мир был потрясен, даже более того, почти разрушен силами и обстоятельствами, совершенно потусторонними по отношению к области нашей деятельности. Серьезный наблюдатель мог бы

сказать, что это была наивная идея возводить такое хрупкое и деликатное строение на склонах вулкана, ясно проявлявшего признаки нарастающей активности. Но на этих склонах мы родились и выросли, и мы всегда думали, что то, что мы делаем, намного более долговечно, чем политическая фаза, которую переживала страна. <...>

Ферми был не единственным физиком, оставившим нашу страну. Бруно Росси, который получил должность профессора в Падуе осенью 1933 г., уехал

вместе с Норой в Копенгаген 12 октября 1938 г. Они смогли осуществить этот спешный отъезд благодаря остаткам той недавней стипендии, которую Бруно использовал для работы в течение нескольких месяцев в Рейхсанштальтской лаборатории В.Боте в Шарлоттенбурге вблизи Берлина.

Эмилио Сегре, ставший профессором в Палермо в 1935 г., в начале лета 1938 г. отправился в Беркли для работы с короткоживущими изотопами 43-го элемента технеция, который был открыт им совместно с Карлом

Перьером в Палермо в 1937 г. Видя развитие политической ситуации в Италии, а также и вообще в Европе, он решил остаться в Соединенных Штатах и написал своей жене Эльфриде, чтобы она вместе с их сыном Клаудио, еще не достигшим и двух лет, как можно быстрее приехала к нему в Беркли.

Клаудио Рака, Уго Фано, Евгению Фубини, Серджио де Бенедетти, Лео Пинкерле и некоторые другие уже оставили или готовились оставить Италию». ■

© Перевод с итальянского В.Д.Белинского

Литература

1. *Orlando L.* Gli Eberi Nei Laboratori dell'Italia Fascista / Sapere, Febbraio 1998.
2. *Segre E.* Enrico Fermi, Fisico. Bologna, 1987.

Новый робот для морских нефтяников

Французские специалисты по морской нефтедобыче получают в эксплуатацию новый подводный робот «Spider», управляемый акустическими сигналами и способный работать на глубине до 1500 м (Sciences et Avenir. 2000. №646. P.22. Франция). До сих пор морские нефтяники используют относительно несложные роботы с кабельным управлением, предназначенные для слежения за подводными частями буровых установок во время их работы. Большой уровень шумов при бурении — главное препятствие на пути реализации бескабельного телеуправления.

Компания «Cybernetix» разработала для нового робота систему частотных фильтров, которая делает гидроакустическую передачу команд достаточно эффективной. Важно, что «Spider»

при его эксплуатации не требует привлечения судна обеспечения, работа которого отнимает три четверти стоимости одного спуска и подъема робота.

По заключению Ж.-Л.Мишеля (J.-L.Michel), руководителя отдела подводных систем института ИФРЕМЕР (IFREMER — l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation des Mers), «Spider» будет хорошим помощником нефтесборщикам, но в научных исследованиях он вряд ли поможет, поскольку качество изображения на снимках, получаемых этим автономным глубоководным роботом, не имеет достаточного разрешения.

Красный список Мирового наследия расширяется

В декабре 2000 г. на заседании комиссии ЮНЕСКО по де-

лам Мирового наследия, состоявшемся в г.Кэрнсе (Австралия), было решено внести в Красный список 30 объектов, оказавшихся под серьезной угрозой разрушения (Sciences et Avenir. 2001. №648. P.23. Франция). Среди них поврежденные при строительстве автомагистралей крепости и сады Шалимар (Пакистан), королевские дворцы в г.Абомее (Бенин), памятники Камбоджи и Мьянмы.

На сегодняшний день Красный список включает 690 объектов, 529 из которых отнесены к памятникам культуры, 138 — к природным достопримечательностям, а 23 сочетают культурные и природные ценности.

В свою очередь Международный совет по памятникам и достопримечательным местам опубликовал первый доклад по наследию, оказавшемуся под угрозой гибели: в нем содержится перечень памятных

мест, обезображенных в результате военных конфликтов или природных катастроф, а также просто заброшенных (как, например, некоторые сельские поместья Франции).

Укрощение озера-убийцы

В 1986 г. со дна оз.Ниос (Республика Камерун) внезапно поднялось удушающее облако CO₂ и покатило по склонам холмов, убивая на своем пути все живое. Тогда в окрестных деревнях за несколько минут погибло более 1800 человек и тысячи голов рогатого скота¹.

Впоследствии ученые установили, что под дном озера (глубина около 200 м) расположены выходы вулканических газов. Тогда к моменту извержения в воде скопилось примерно 300 млн м³ CO₂, из которых около 80 млн м³ в результате нарушения водной стратификации со взрывом вырвалось наружу (процесс подобен происходящему при снятии пробки с бутылки шампанского). С тех пор газ постепенно снова продолжал накапливаться. Специалисты одновременно вели исследования этого явления и разрабатывали методы, позволяющие избежать катастрофического повторения.

В феврале 2001 г. группа ученых из Савойского университета в Шамбери (Франция) во главе с геохимиком М.Хальбваксом (M.Halbwachs) вывела на середину озера трехметровый плот, с которого в глубину был опущен 200-метровый полиэтиленовый шланг. По нему на поверхность с придонного слоя начала поступать вода, насыщенная CO₂, причем никакой энергии для ее подъема не требовалось. Каждый

литр из образовавшейся колонны такой воды высотой примерно 40 м выносил на поверхность около 10 л выделяющегося в воздух углекислого газа. Таким образом, добавив еще четыре или пять аналогичных шлангов, ученые надеются к 2002 г. «дегазировать» оз.Ниос до безопасного уровня (Science. 2001. V.291. №5506. P.965. США).

Французская команда вернулась на родину, возложив наблюдение за процессом на один из искусственных спутников Земли. В случае необходимости местные власти могут сами выключить установку. Между тем, по мнению английского геохимика С.Фрита (S.Freeth), риск нового извержения в результате возможного нарушения стратификации водных масс сохраняется.

Палеонтологическая сенсация повисла в воздухе

Более двух лет назад индийско-немецкая группа геологов и палеонтологов оповестила мир о своем открытии: в горах Виндхья, на севере п-ова Индостан, обнаружены окаменелые остатки лентообразных водорослей, возраст которых, по их мнению, около 1.1 млрд лет. До сих пор специалисты с уверенностью утверждали, что появление подобных многоклеточных организмов на Земле можно отнести лишь к периоду, отстоящему от нас на 700 млн лет. Кроме того, если бы открытие подтвердилось, горы центральной части Индостана следовало бы признать намного моложе, чем считалось до сих пор.

Выводы участников индийско-немецкой экспедиции были немедленно оспорены (Journal of the Geological Society of India. 2000. V.55. P.675; Science. 2000. V.289. №5483. P.1273. США). Так, палеонтолог

Р.Дж.Азми (R.J.Azmi; Институт гималайской геологии им.Вадиа) утверждает, что непосредственно поверх слоя, содержащего эти водоросли, залегают остатки мелких ракушечных организмов, которым насчитывается «всего» 540 млн лет, и с такой датировкой согласно большинство экспертов. Следовательно, водоросли никак не могут быть столь древними, как полагают члены экспедиции.

Геологическое общество Индии создало специальную экспертную комиссию, которая сочла утверждения Азми неубедительными и потребовало более тщательного и объективного изучения ископаемых ракушечных организмов, якобы «опровергающих» древность водорослей. Известный индийский микропалеонтолог Ш.Б.Бхатия (Sh.B.Bhatia; Пенджабский университет), возглавлявший экспертную комиссию, отмечает, что Азми отказывался отвечать на многие задаваемые ему вопросы и каждый раз представлял новые данные, не всегда совпадавшие с предыдущими. Однако сам Азми считает, что к рассмотрению проблемы привлечены люди, некомпетентные в этой узкой области знаний, и настаивает на создании не национальной, а международной группы из видных специалистов, которые могли бы с уверенностью и объективностью судить об аргументах обеих сторон. Таким образом, важная проблема все еще не разрешена.

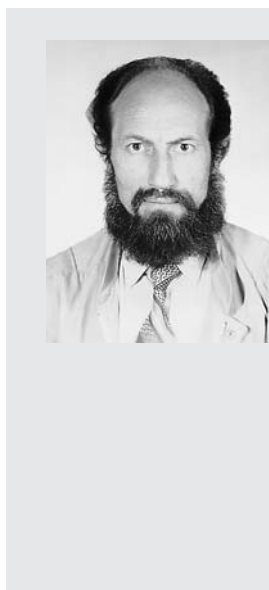
¹ Подробную информацию об аналогичных катастрофических событиях см.: Озера Мунун и Ниос снова угрожают // Природа. 1995. №5. С.104—105; Угроза от озер-убийц нарастает // Там же. 1999. №11. С.84—85.

Несеребряные изображения из металлохелатов

О.В.Михайлов

Как известно, светочувствительная основа современных фотопленок и фотобумаг — различные галогениды серебра (AgHal). Монополия этих соединений на рынке фотоматериалов сформировалась еще на заре развития фотографии, и хотя сейчас появились и другие конкурентоспособные фотографические методы регистрации информации, старый способ продолжает жить и, судя по всему, продержится еще минимум 15–20 лет. На практике это оборачивается тем, что фотографическая промышленность потребляет ныне почти 30% всего добываемого в мире серебра. Поэтому не удивительно, что всемерное сокращение расхода этого довольно-таки дефицитного металла начиная с середины XX в. стало одной из основных задач химико-фотографической науки и практики.

В принципе такого сокращения можно достигнуть двумя путями. Первый из них, в последние годы широко распространившийся, сводится к изготовлению галогенсеребряных фотоматериалов со сниженным удельным содержанием серебра. В этом случае либо используют микрокристаллы AgHal с повышенной чувствительностью к тому или иному виду излуче-



Олег Васильевич Михайлов, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии Казанского государственного технологического университета. Научные интересы связаны с координационной химией, комплексообразованием, фотохимией, химией гибридных функциональных материалов. Автор 120 изобретений и многих научных публикаций, вышедших в России и 15 странах мира. В «Природе» опубликовал несколько статей.

ния, либо — что проще — увеличивают дисперсность элементного серебра в полученном после стандартной процедуры (проявления и фиксирования) изображении. Но вот беда — содержащееся в нем серебро остается у потребителя и фактически безвозвратно теряется. Более того, зачастую уменьшенное содержание серебра в таких фотоматериалах вызывает снижение чувствительности к излучениям отдельных видов, прежде всего — ионизирующих.

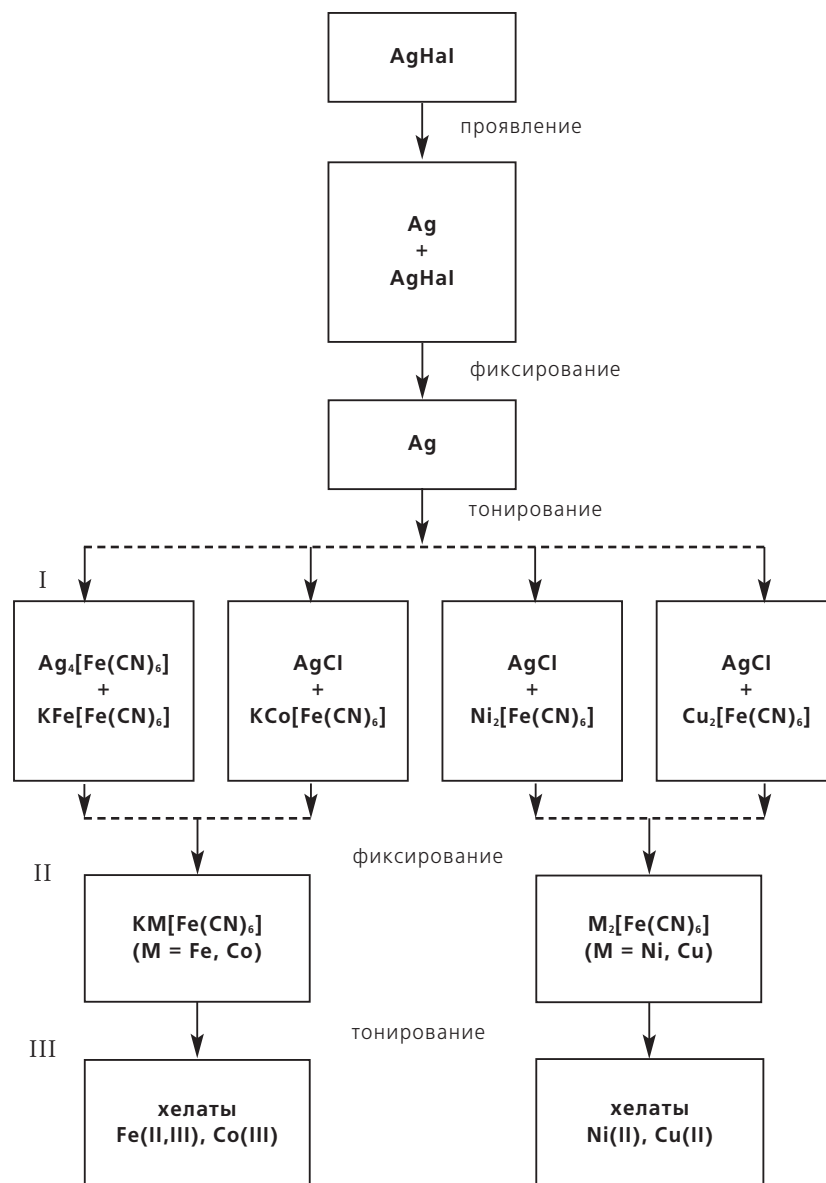
Указанных недостатков можно избежать, если пойти по дру-

гому пути — регенерировать серебро, извлекать его из уже полученного изображения. Достигается это такой химической обработкой, в ходе которой содержащееся в нем элементное серебро заменяется тем или иным интенсивно окрашенным соединением, а само переходит в какой-либо из применяемых растворов, откуда может быть извлечено и вновь направлено в производство. В настоящее время уже широко распространился вариант регенерации серебра с образованием несеребряных изображений из органи-

ческих красителей. Это не что иное, как хорошо знакомая читателю цветная фотография. Однако все такие красители имеют один «генетический» порок — они малоустойчивы к действию света и агрессивных агентов окружающей среды, а потому изображения сравнительно быстро выцветают. (Пример подобного процесса можно было воочию наблюдать в 80-е годы в Москве на Ленинградском вокзале: висевшее в его северной части, рядом с перроном, яркое фотопанно с изображением экспресса ЭР-200 полностью выцвело всего за каких-то три-четыре года. И это несмотря на то, что оно не подвергалось действию прямого солнечного света!)

Такой порок можно устранить, если в качестве носителей фотоизображения использовать металлохелаты — своеобразную и интересную группу координационных соединений ионов разных металлов с органическими реагентами. Металлохелаты достойны пристального внимания и сами по себе, но здесь мы ограничимся лишь применением их в фотографии. В обширном мире разных несеребряных изображений те, что получают на основе металлохелатов не имеют аналогов как по своим оптическим характеристикам, так и по способам формирования. Столь необычные носители фотоизображений вполне заслуживают специального обсуждения, тем более что до начала наших работ химико-фотографической науке они вообще не были известны.

Для химической обработки галогенсеребряных фотоматериалов используется немало реагентов, которые переводят находящееся в изображении элементное серебро в одно из его соединений — обычно в галогенид AgHal или гексацианоферрат(II) $\text{Ag}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Одновременно с этим в фотослое осаждаются другие металлсодержащие вещества. В состав наиболее известных реагентов, применяемых



Общая схема формирования металлохелатных фотоизображений на галогенсеребряных фотоматериалах. Римскими цифрами указаны стадии образования хелатов.

для тонирования, входят гексацианоферрат(III) калия $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, растворимая соль $3d$ -элемента (как правило, хлорид или сульфат) и дикарбоновая кислота (обычно щавелевая) или оксикислота (например лимонная или винная). При обработке уже сформированного после проявления и фиксирования серебряного изображения такими реагентами в фотослое образуется смесь гексацианоферра-

та(II) того металла, который присутствовал в тонирующем растворе, и соединения серебра — AgHal или $\text{Ag}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Тиосульфатом натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (хорошо знакомым фотолюбителям фиксажем) можно затем перевести как AgHal , так и $\text{Ag}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ в растворимое соединение $\text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$ и тем самым полностью удалить серебро. Металлгексацианоферрат(II) (МГФ) при этом остается в фотослое, по-

скольку с $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ не взаимодействует. Дальнейшей обработкой фотослоя раствором, содержащим хелатообразующий агент, удастся трансформировать МГФ в соответствующий металлохелат, который и станет носителем несеребряного изображения.

Процесс его образования, как видно из сказанного, состоит из трех этапов. Химические реакции, протекающие на первых двух, имеют некаталитический характер, и при исчерпывающей полноте их проведения количество образующегося в слое металлгексацианоферрата(II) определяется исключительно исходным содержанием серебра. Третий же этап — это не что иное, как процесс комплексообразования, поэтому количество металлохелата как носителя несеребряного фотографического изображения (и соответственно его оптическая плотность D^*) будет зависеть от содержания МГФ в фотослое, природы и концентрации хелатообразующего агента, температуры и времени реакции. Варьируя эти параметры, можно в очень широких пределах (на порядок и даже более) изменять фото-

графические характеристики, в том числе чувствительность к излучению, одного и того же галогенсеребряного материала. Именно третий этап и оказывается решающим в формировании оптических показателей фотоизображения. Важное значение имеет также растворимость металлохелата в воде: она должна быть довольно низкой, чтобы это соединение не вымывалось из фотослоя, в противном случае изображение будет разрушаться.

Методика получения металлохелатных изображений, как можно заметить, в принципе-то весьма нехитрая. Почему же они до начала наших работ фактически оставались вне поля зрения исследователей? Об этом остается только гадать.

Наиболее известный металлохелат, интенсивность окраски которого достаточно высока для построения несеребряного изображения, — комплекс двухвалентного никеля Ni с диметилглиоксимом (этот комплекс, кстати, входит в состав губной помады как красящий компонент). На первом этапе проявленный и закрепленный галогенсеребряный фотоматериал

(т.е. готовый серебряный снимок) обрабатывают раствором, содержащим комплекс никеля с лимонной кислотой, гексацианоферрат(III)- и хлорид-анионы. Из образующихся в результате соединений только два — гексацианоферрат(II) никеля и хлорид серебра — не растворимы в воде. Именно они и остаются в фотослое, другие же удаляются в процессе промывки, а за счет последующего воздействия тиосульфата натрия извлекается и AgCl . И наконец, на третьей стадии содержащийся в фотослое гексацианоферрат никеля вступает в реакцию с диметилглиоксимом и образует хелат — бис(диметилдиоксимат)никель.

Полученное в итоге несеребряное изображение окрашено в розово-красный цвет и имеет большую оптическую плотность D^* , по сравнению с первоначальной серебряной D^{Ag} . Значения D^* монотонно нарастают по мере увеличения концентрации диметилглиоксима и продолжительности реакции и зависят от D^{Ag} . Подобная зависимость $D^* = f(D^{\text{Ag}})$ сохраняется неизменной для любой концентрации этого органического

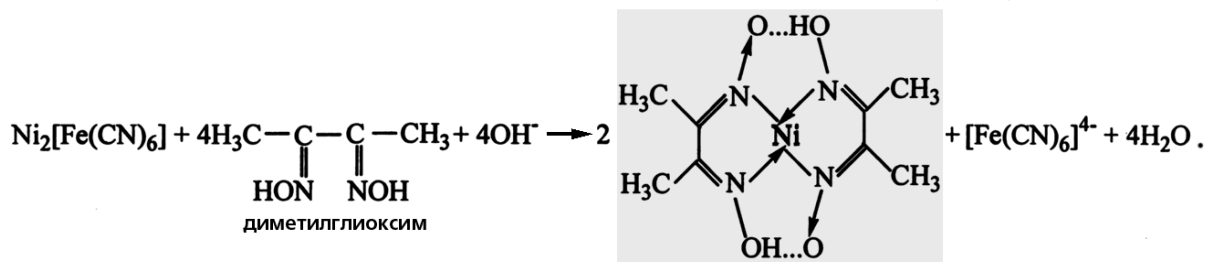
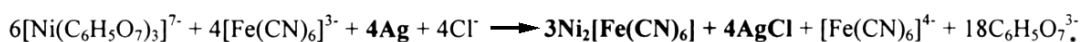
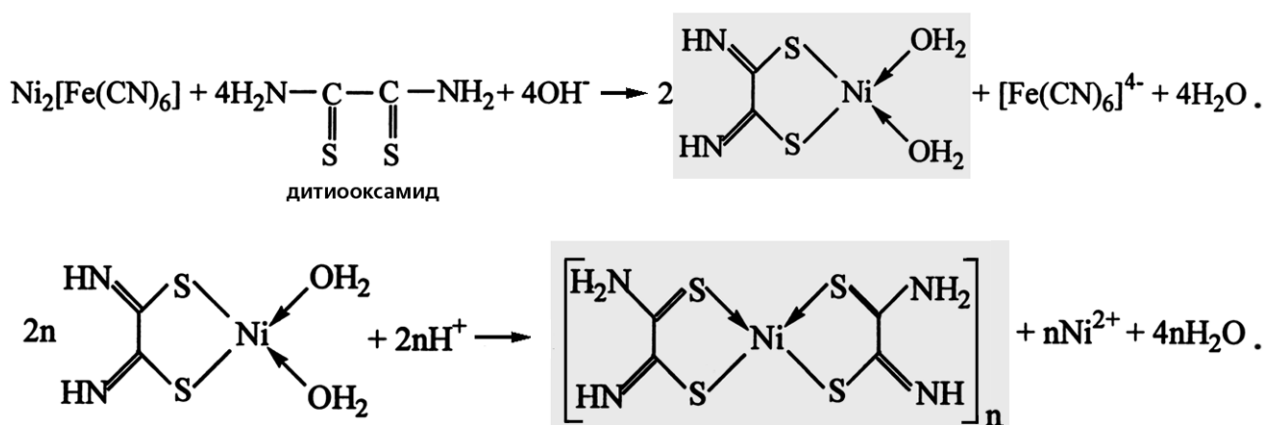


Схема реакций, приводящих к образованию хелатного соединения на основе двухвалентного никеля с диметилглиоксимом. Обработкой исходного серебряного снимка раствором, содержащим комплекс никеля с лимонной кислотой, гексацианоферрат(III)- и хлорид-анионы, элементное серебро переводится в AgCl , которое после взаимодействия с тиосульфатом натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ превращается в растворимое соединение и вымывается из фотослоя. Оставшийся в нем гексацианоферрат никеля вступает в реакцию с диметилглиоксимом и образуется металлохелат — носитель несеребряного изображения розово-красного цвета. Соединения, остающиеся в фотослое, выделены жирным шрифтом.



Заключительная стадия синтеза хелата никеля с дителиооксамидом. Образовавшийся вначале металлохелат розово-фиолетовой окраски при подкислении раствора превращается в новое координационное соединение другого цвета — голубого или синего.

реагента, а нередко и при образовании хелатов никеля с другими соединениями — различными аналогами диметилглиоксима, а также с производными 8-меркаптохинолина. Бывает, однако, что не так просто и получить металлохелатные изображения, и описать процесс формирования оптической плотности. Наиболее яркий тому пример — изображения из хелатов Ni с дителиооксамидом.

Первые две стадии их получения такие же, как для бис(диметилдиоксимато)никеля. А вот заключительный, третий, этап гораздо сложнее, поскольку в ходе его образуется как минимум пять разных координационных соединений, причем четыре из них трудно растворимы в воде и потому могут формировать металлохелатное изображение. С увеличением продолжительности этой стадии оптические плотности вначале растут, достигают некоторых максимальных значений и затем падают. Время же, необходимое для получения максимальной оптической плотности при любой заданной D^{98} , с ростом концентрации дителиооксимида сокращается, но если она очень высока (0.1 моль/л и более), изображение... вообще не образуется (!!!).

Сей парадокс связан с тем, что увеличение концентрации дителиооксимида усиливает тенденцию к образованию растворимых комплексов, которые легко диффундируют из фотослоя в раствор. Интересно, что если полученный таким образом снимок выдержать в каком-либо кислом растворе (pH 5 или менее), первоначальная розово-фиолетовая окраска почти моментально изменится на голубую или синюю, так как исходный хелат трансформируется в другое координационное соединение.

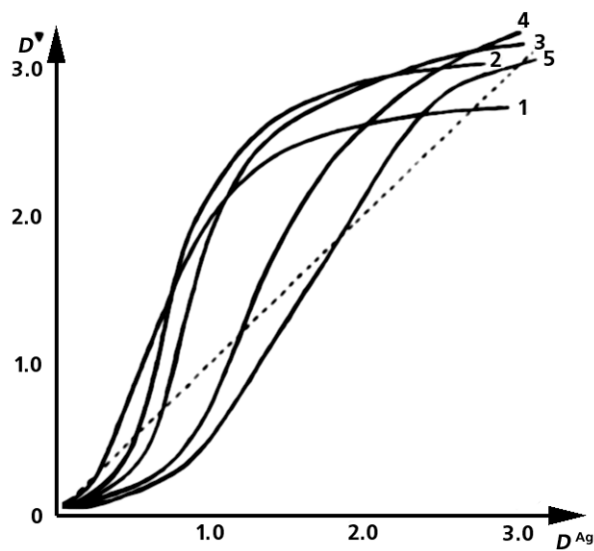
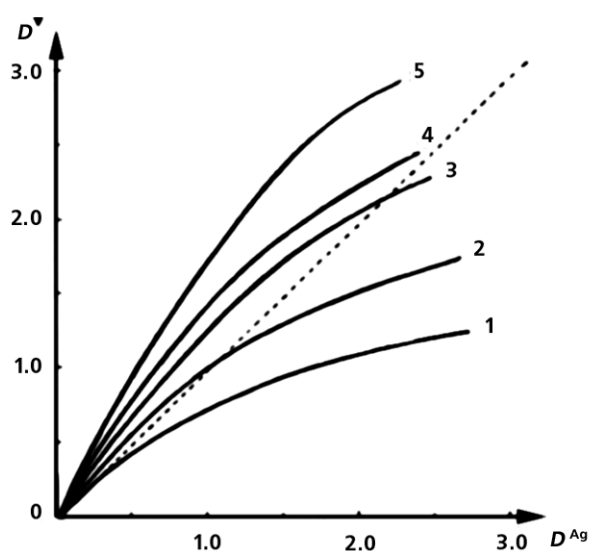
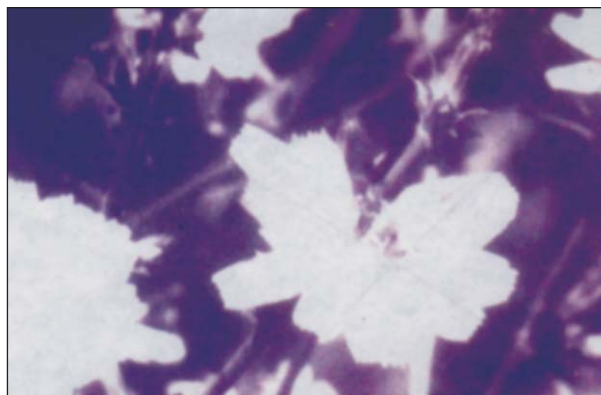
Следует отметить, что это свойство можно использовать для изготовления так называемых синих слайдов, которые предпочтительнее традиционных, ибо имеют гораздо более высокую чистоту светлых линий, четкость и контрастность изображения. К тому же диапазон варьирования оптической плотности D^* таких слайдов при одной и той же D^{98} значительно шире, а это далеко не последнее качество.

Если розово-фиолетовые, голубые и синие изображения образуются никелевыми хелатами, то темно-зеленые — хелатом из дителиооксимида с двухвалентной медью, а янтарно-желтые — с трехвалентным кобальтом. Об-

работка исходного серебряного снимка та же, трехстадийная.

Чтобы получить хелатные соединения меди, на первом этапе используют комплекс Cu(II) со щавелевой кислотой, уже упоминавшийся ион $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ и карбонат-анион. Для образования кобальтового хелата нужен комплекс кобальта с лимонной кислотой, гексаацианоферрат- и хлорид-анионы.

Третья стадия процесса протекает по одной и той же схеме, если судить только по суммарным уравнениям реакций. Однако они далеко не отражают всей сложности химического процесса, благодаря которому формируются изображения на основе хелатов меди и кобальта. Наглядное тому свидетельство — необычное изменение оптической плотности несеребряного снимка из хелатов Co с дителиооксамидом: с ростом D^{98} она не увеличивается, как следовало бы ожидать, а, напротив, уменьшается. Феномен в фотографической практике уникальный! Конечно, никакого чуда тут нет: просто несеребряное изображение состоит не из одного компонента, как в случае никелевого хелата с диметилглиоксимом, а не менее чем из трех, к тому же оптическая плотность одного из них гораздо ниже, чем



Несеребряные изображения, полученные из металлохелатов. Под каждой фотографией приведен график зависимости оптической плотности хелатного изображения D^* от оптической плотности первоначального серебряного снимка D^{Ag} при разной длительности третьей стадии процесса — образования металлохелатного соединения. Слева направо: изображение из хелата никеля с диметилглиоксимом (его концентрация — $5 \cdot 10^{-2}$ моль/л); из хелата никеля с дитиооксамидом (концентрация — $2 \cdot 10^{-2}$ моль/л); изображение, полученное из хелата меди

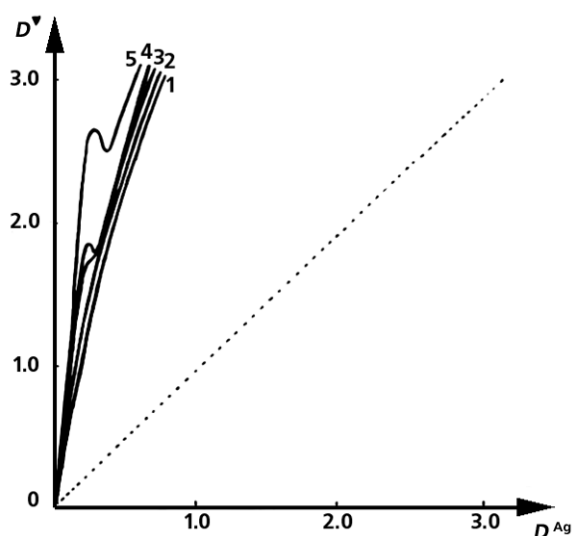
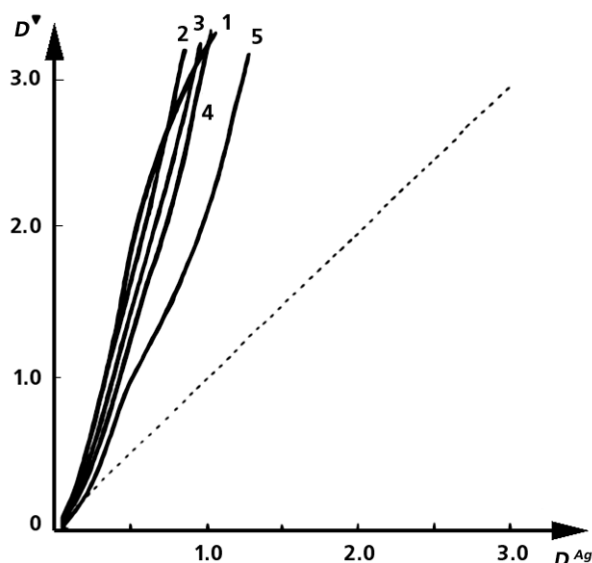
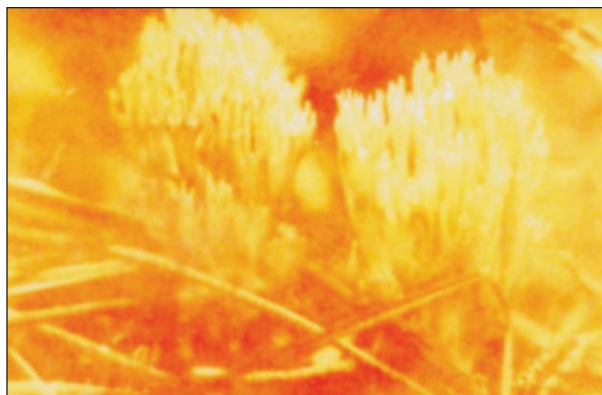
двух других. Интересно было бы детально обсудить протекающие при этом процессы — прямо скажем, весьма мудреные! — и объяснить только что указанный феномен, но, к сожалению, в небольшой статье этого не сделаешь. Отмечу лишь, что возможна ситуация (для какой-то определенной концентрации дитиооксамида и заданного времени реакции), когда при более высокой плотности исходного серебряного изображения мольная доля хелатного компонента со слабым погло-

щением окажется значительно больше, чем таковая при меньшей величине D^{Ag} . Именно благодаря этому и появляются минимумы на отдельных кривых $D^* = f(D^{Ag})$.

С практической точки зрения, безусловно, наиболее ценными в качестве носителей несеребряных изображений были бы хелаты двух- или трехвалентного железа — наиболее дешевого и доступного металла среди всех других. Их применение в подобном качестве, однако, ограничивается тем, что

в большинстве своем они сравнительно мало устойчивы и довольно-таки растворимы в воде, да и поглощение ими света в видимой области спектра невелико. Вот почему ассортимент хелатов железа, пригодных для формирования фотографических изображений, весьма невелик: в настоящее время это лишь хелаты Fe(II) с 8-гидроксихинолинами и Fe(III) с 8-меркаптохинолинами.

Чтобы получить такие снимки, сначала исходное серебряное изображение выдерживают



с дитиооксамидом ($2 \cdot 10^{-2}$ моль/л); из хелатного соединения кобальта с тем же реагентом (концентрация — $8 \cdot 10^{-3}$ моль/л). Оптические плотности измерены за зеленым, желтым, красным и синим светофильтрами, соответственно. Длительность третьей стадии процесса: 1 мин (1), 2 (2), 4 (3), 6 (4), 10 мин (5). Процесс образования хелата (D^v) усиливается или ослабляется, по сравнению с исходным изображением (D^{Ag} ; штриховая прямая), в зависимости от того, сколько времени продолжается третья стадия.

в растворе, содержащем «смешанный» (на языке современной координационной химии — гетеролигандный) комплекс трехвалентного железа с лимонной и винной кислотами и все тот же ион $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$, в результате чего образуется металлгексацианоферрат — промежуточное несеребряное изображение синего цвета. За счет последующего взаимодействия этого МГФ с 8-гидроксихинолином синтезируется металлохелатное соединение — носитель окончательного серовато-черного изо-

бражения. Цветом оно похоже на первоначальное серебряное, но оптические плотности D^v его в целом выше. В ходе процесса образуется преимущественно лишь одно соединение — бис(оксинато)железо(II), поэтому не удивительно, что оптические плотности D^v монотонно нарастают по мере увеличения D^{Ag} . Если для синтеза металлохелата использовать 8-меркаптохинолин, промежуточного изображения не будет, так как двухвалентное железо в координационном соединении под воз-

действием атмосферного кислорода сразу же окисляется в трехвалентное. Полученная в итоге фотография имеет различные оттенки красно-коричневого цвета.

Вне всякого сомнения, носителями фотоизображения могут быть и хелаты других ионов металлов, в частности $\text{Ti}(\text{IV})$, $\text{Cr}(\text{III})$, $\text{Mn}(\text{III})$, $\text{Zn}(\text{II})$, $\text{Sn}(\text{II})$. Сие, однако, экспериментально никем (в том числе и автором этих строк) пока не подтверждено, так что их синтез и детальное изучение еще впереди.

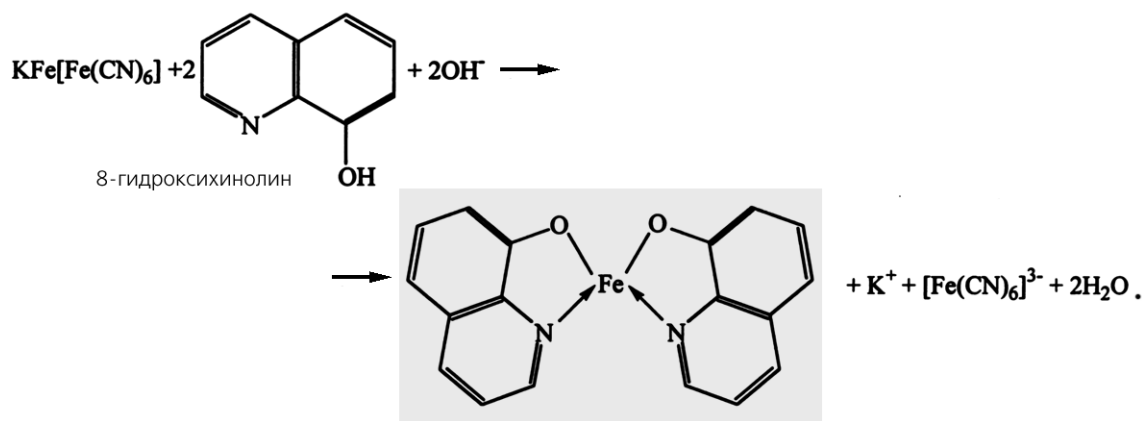
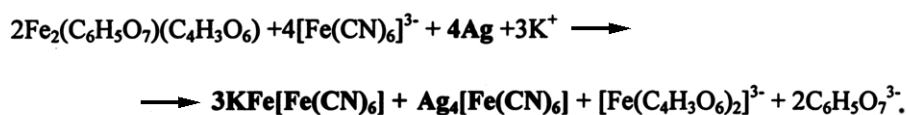


Схема синтеза хелатного соединения на основе двухвалентного железа с 8-гидроксихинолином. Конечный продукт этих реакций — бис(оксинато)железо(II) — окрашен в серовато-черный цвет.

Увеличение ассортимента металлохелатных изображений достижимо и другим путем — за счет химических реакций иных типов: электрофильного замещения, темплатного синтеза, присоединения π -акцепторных соединений и др. Все это — настоящая золотая (во всяком случае — серебряная, причем в буквальном, а не в переносном смысле!) жила научной фотографии, которая вполне заслуживает целенаправленных поисков.

Остается сказать в заключение, что несеребряные изображения из металлохелатов в принципе можно получить и более простым способом —

проявить экспонированный галогенсеребряный фотоматериал, промыть его и далее провести положенные три стадии процесса, который заканчивается образованием металлохелата. Таким образом, удастся разом «убить двух зайцев»: сократить время получения несеребряного изображения и сделать более эффективным протекающее на первом этапе окисление элементного серебра, содержащегося в фотослое.

В незапамятные времена человек, истребив мамонтов, поневоле вынужден был всерьез заняться разведением домашнего скота, дабы хоть как-то удовлетворить свои насущные по-

требности в мясной пище. Подобным же образом нарастающая угроза «серебряного голода» в фотографии заставляет ее искать новые методы записи информации, где роль серебра сведена к минимуму. И кто знает, не окажутся ли те самые несеребряные изображения, о которых шла речь, хоть каким-то да подспорьем в создании принципиально нового вида фотографии вообще и цветной, в частности. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 96-03-32112.

Литература

- Михайлов О.В. // Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр. 1991. Т.36 №4. С.344–355.
 Mikbailov O.V. // J. Coord. Chem. 1999. V.47. №1. P.31–58.
 Mikbailov O.V., Khamitova A.I., Kazymova M.A. // Journ. of Soc. of Photogr. Science and Technology of Japan. 1998. V.61. №6. P.387–393.

Кто живет на голом камне?

А.А.Горбушина

Скалы, валуны, каменные и бетонные здания и другие архитектурные сооружения — все они только на первый взгляд кажутся бесплодными минеральными субстратами. Жизнь на голом камне возможна и даже довольно обильна, особенно для микроскопических существ, хотя и затруднена сложными (по крайней мере с точки зрения человека) экологическими и микроклиматическими условиями. Экологическая ниша микроорганизмов чрезвычайно мала, а это означает, что для бактерии размером всего лишь в несколько микрометров на двух сторонах небольшой песчинки условия обитания могут существенно отличаться. Однако и для микроорганизмов существуют определенные условия, в которых они чувствуют себя более или менее комфортно. С чем приходится сталкиваться микроорганизму, поселившемуся на камне?

Очевидно, что открытая всем ветрам поверхность твердых субстратов крайне неблагоприятна для жизни. Здесь — резкие суточные и сезонные колебания температуры, влажности, а также интенсивная солнечная радиация. Поэтому организмы вынуждены или приспособляться, или отступить в более подхо-



Анна Андреевна Горбушина, кандидат биологических наук, миколог, геомикробиолог, научный сотрудник Ольденбургского университета им. Карла фон Оссиетцки (Германия). Занимается проблемами клеточной биологии, экофизиологии и биогеохимии обитающих на камне микроскопических грибов.

дящие места. Микроорганизмы приспособились к жизни на камне. Попадая сюда из атмосферы, они закрепляются на вертикальных поверхностях, растут и проникают в микроскопические поры каменистого субстрата. Из воздушной среды поступают и разнообразные органические вещества, необходимые для питания многочисленных органотрофов. В сложном биоценозе, формирующемся на поверхности камня, организмам

нужно защищаться от нападения микроскопических хищников, которых привлекает образовавшаяся живая пленка (биопленка) в качестве сбалансированного источника питания.

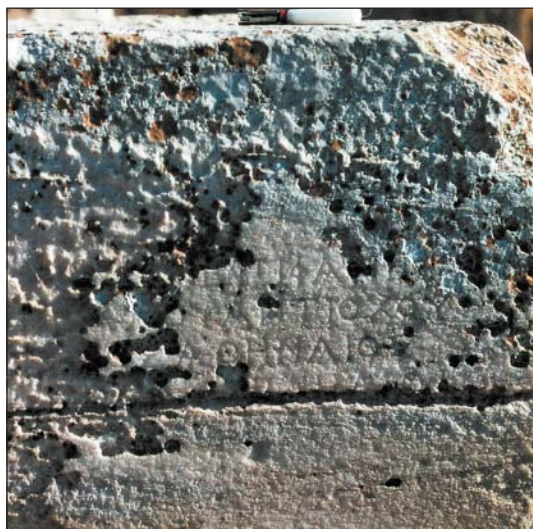
В целом можно заключить, что субаэральная поверхность пород — это биологически инертный субстрат, находящийся в сложных климатических условиях. На такой поверхности могут существовать организмы, постоянно готовые противостоять

© А.А.Горбушина



Фрагмент колонны, поверхность которой необратимо разрушена микроорганизмами. Рядом (справа) показана вольта этой же колонны, вытесанная для замены поврежденной.

Здесь и далее использованы фото автора, а также Е.Диакумаку, В.Крумбайна и К.Урци



Поверхность мраморной стелы с о.Делос. Отчетливо видимые углубления вызваны ростом микроскопических грибов, которые всего за 150 лет в поверхностном слое камня почти уничтожили древние надписи.

Мраморная колонна Парфенона на афинском Акрополе. Хотя здесь трещины возникли отчасти за счет механических повреждений, окраска обусловлена развитием субаэральных биопленок.

ять всему спектру жестких экологических факторов, или же эфемерные виды, развивающиеся лишь при кратковременных благоприятных условиях. Ведь для микроорганизмов совсем не обязательна полностью водная среда и постоянное присутствие питательных веществ, для обильного роста зачастую достаточно даже периодического увлажнения и наличия органики.

Субаэральное выветривание — важнейший глобальный процесс, предшествующий возникновению почвы. Если мы внимательно посмотрим на поверхность камня, долгое время находящегося на открытом воздухе, то заметим существенные изменения в цвете, структуре и фактуре поверхности, особенно в микрорельефе. Удобной моделью субаэрального выветривания с точной датировкой служат памятники и здания. Геомикробиологи из Ольденбургского университета (Германия), изучавшие состояние античных мраморных памятников Средиземноморья, пришли к заключению, что появление на их поверхности углублений связано с деятельностью микроскопических грибов, которые хорошо приспособились не только к жизни на камне, но активно проникают в поверхностные слои мрамора [1]. Именно их жизнедеятельность на границе с атмосферой губительно сказывается на внешнем облике ценнейших памятников человеческой истории и культуры.

Архитектурные памятники из естественного камня считаются наиболее долговечными по сравнению с живописью, текстилем, фарфором и другими материалами. Но они длительное время соприкасаются с неподвластной контролю воздушной средой и потому подвержены влиянию всех климатических факторов, в том числе и выветриванию — начальной стадии почвообразования. Таким образом, изменения, происходящие с каменным субстра-

том, связаны с естественным заселением его микроорганизмами. Прекратить этот процесс, даже если речь идет о невосполнимых памятниках искусства, невозможно. Однако, зная последовательность и закономерности заселения, можно целенаправленно воздействовать на самых «злонамеренных» обитателей и повлиять на процессы, связанные с биологическим выветриванием.

Каковы же обитатели каменного субстрата и в какой последовательности чистый камень (или только что построенное здание) будет заселяться, чтобы через тысячелетия в буквальном смысле сравняться с землей?

Обитатели камня

Первые упоминания о присутствии микроорганизмов на поверхности камня в воздушной среде относятся еще к 19-му столетию. Но активные исследования микроценозов минеральных субстратов начались в XX в. и были связаны как с индустриальными материалами [2], так и с естественными поверхностями выветренных горных пород [3].

Если посмотреть на поверхность камня в микроскоп, можно обнаружить множество разнообразнейших организмов. Среди них — бактерии (включая актиномицеты и цианобактерии), грибы, водоросли, протисты, членистоногие, лишайники и мхи. Обычно приводимые в школьных учебниках примеры пионеров заселения каменных поверхностей ограничиваются лишь лишайниками и мхами как наиболее заметными поселенцами. На самом деле их появление говорит об уже продвинутой стадии развития и роста микроорганизмов и зачастую связано с образованием тонкого слоя почвы или мелкозема.

В сканирующем электронном микроскопе на поверхности камня мы чаще всего наблюдаем

грибные гифы или микроколони из округлых клеток. Такие просто организованные структуры совсем невелики по размерам: диаметр обычной микроколонии 50—500 мкм. Внешний вид подобных образований в более засушливых условиях меняется и часто (особенно в пустынях) действительно отвечает своему названию — «микроколониальные грибы».

Живущие на камне грибы обычно интенсивно окрашены благодаря наличию в их клетках различных пигментов (меланинов, каротиноидов, микоспоринов), образование которых, вероятно, вызвано жесткими условиями обитания. Например, в умеренном и засушливом климате на камнях часто встречаются микроскопические грибы, относящиеся к *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Coniosporium*, *Phaeococcomyces*, *Phaeotheca* и многим другим родам аскомицетов. Как правило, эти грибы, окрашенные в коричнево-черные тона, выделяют большое количество разнообразных пигментов, которые откладываются на камне и изменяют цвет его поверхности [4]. Потемнение трещин также обусловлено микроскопическими грибами и другими микроорганизмами, которые используют структурные полости для роста и распространения.

В чем же привлекательность структурных неровностей камня для микроорганизмов? Дело в том, что в трещинах поверхности, сколь бы тонки и незаметны они ни были, царят совсем другие экологические условия, чем на открытом камне. В трещинах влага легче собирается и дольше задерживается, а проникающий в глубину камня свет менее интенсивен. Например, в антарктических горных породах микроорганизмы образуют пояс роста на некоторой глубине, где освещенность благоприятна для их развития. В параллельных поверхности камня трещинах хорошо растут

и фотосинтезирующие микроорганизмы — там от избыточного солнечного света и недостаточного увлажнения они защищены «чешуйками» породы. По краям трещин, где защитное прикрытие отсутствует, цианобактерий и водорослей нет, но почти всегда встречаются микроколонии грибов.

Пионеры каменных джунглей

Наши эксперименты по экспозиции свежеспиленных блоков известняка на высоте 3 м над поверхностью почвы показали, что сначала на камне появляются микроскопические грибы (микромикеты) и гетеротрофные бактерии, нуждающиеся в присутствии органических веществ в качестве источника энергии для роста и развития. Фотосинтезирующие организмы, источником энергии для которых служит солнечный свет, мы обнаружили только на третьем году экспозиции.

Многолетний опыт работы с различными памятниками под открытым небом позволяет заключить, что любые каменные поверхности могут быть ареной интенсивного развития микромикетных сообществ. Заселение грибами минеральных поверхностей говорит о постоянном наличии грибных зачатков в воздушной среде (что очень легко доказывается микробиологическим анализом микрофлоры воздуха), а также о присутствии в воздухе органических соединений, способных служить источником питания и энергии для органотрофных микромикетов.

Непрерывно и непредсказуемо меняющиеся физико-химические условия обитания на границе между горными породами и атмосферой пригодны только для выносливых жизненных форм, приспособленных к разнообразным стрессовым факторам. У микроорганизмов есть два пути преодолеть возникаю-

щие трудности. Один из них основан на способности производить многочисленные и легко переносимые споры. Другой предполагает долговременное сохранение уже образованных вегетативных элементов, формирующих микроколонии, которые обладают неограниченной устойчивостью к стрессу и приспособлены к экстремальным условиям обитания.

И ту, и другую экологическую стратегию можно проиллюстрировать на примере микроскопических грибов, доминирующих в субаэральных биопленках на поверхности камня. Во всех климатических зонах — от полюсов до пустынь — уникальная форма роста в виде отдельных ветвящихся тяжей (гиф) позволяет грибам проникать в субстрат и колонизовать не только его поверхность, но и толщу. Грибы — самые многочисленные и широко распространенные обитатели субаэральных биопленок на горных породах. Гифы грибов удлиняются за счет активно растущих концов и таким образом быстро и эффективно захватывают всю толщу субстрата. С другой стороны, именно эти микроскопические организмы благодаря разнообразным адаптивным реакциям удивительно приспособлены к выживанию в изменяющихся внешних условиях.

Непредсказуемость качественного и количественного состава поступающих питательных веществ, высокий уровень инсоляции, резкие колебания температуры и влажности создают стрессовую ситуацию для многих обитателей поверхности камня. В этой связи особый интерес представляет изучение биологических особенностей грибов, живущих в столь резко меняющейся неблагоприятной среде. Отбор, обусловленный исключительно внешними факторами, особенно сильно влияет на прикрепленные организмы. Неподвижные микроскопические грибы, растущие на поверхности камня, вынуждены

соответствовать условиям обитания.

Широкий спектр особенностей аскомицетов позволяет им успешно выживать в столь жестких условиях. Микромикеты на поверхности камня, как правило, образуют очень плотные и компактные микроколонии с повышенной способностью к выживанию. Обычно микроскопические грибы растут в виде удлиненных цилиндрических клеток, связанных в трубчатые или нитчатые структуры (гифы), образующие мицелий. Попав на негостеприимный и не содержащий питательных веществ камень, многие грибы меняют мицелиальный способ роста на дрожжеподобный — вместо мицелия формируют похожие на четки гифы из округлых клеток примерно одинакового размера. Способные к такому переключению аскомицеты с темноокрашенными клеточными стенками получили название черных дрожжей [5].

Столь высокая морфологическая «мобильность» делает эту группу сложной для идентификации только по морфологическим признакам и вынуждает использовать методы молекулярной филогении [6]. Способность к смене мицелиальной формы роста на дрожжеподобное почкование и рост в виде округлых толстостенных клеток дает грибам преимущество в неблагоприятных условиях и приводит к образованию микроколоний. Особенно плотные микроколонии образуют грибы, обитающие на поверхности камня в очень жарком или очень холодном климате, — например, в пустынях или в Антарктиде.

Доля округлых темноокрашенных клеток для многочисленных и географически разнообразных штаммов грибов, обитающих на камне, увеличивается, как было неоднократно показано, под воздействием многочисленных и разнообразных стрессовых факторов: повышенного осмотического давления, пониженной влажности, низкой или

высокой температуры, малого содержания питательных веществ в среде [1].

Однако имеется еще один фактор, непосредственно связанный с образованием компактных колоний. Не только переход от удлинённых к округлым клеткам, но и частота ветвления существенно влияют на общее строение колонии. Усиленное ветвление четкообразных гиф приводит к появлению тканеподобных структур, сохраняющих жизнеспособность при минимальном количестве влаги. Благодаря выделению в среду внеклеточных полисахаридов, способствующих конденсации капельно-жидкой влаги из воздуха, микроорганизмы поддерживают свое существование. Внеклеточный слизистый матрикс помогает колониям, состоящим только из отделённых друг от друга округлых дрожжеподобных клеток, транспортировать вещества и влагу внутри колонии и между колониями.

Для нас главный интерес представляют не все фенотипические реакции организмов, вызываемые внешними условиями, а формы роста, свойственные определенной экологической группе на поверхности минерального субстрата — пойкилофильному экотипу, сформированному в постоянно меняющейся среде. Пойкилофильность (от греческих: *ποικίλος* — различный, переменчивый, *φιλέω* — люблю) характерна для организмов, которые более приспособлены к часто и непредсказуемо меняющимся условиям, чем к постоянным и благоприятным. Это в полной мере относится к обитающим на камне грибам, устойчивая форма развития которых поддерживает соответствие между неподвижными микромицетами и хаотично и сильно меняющейся окружающей средой. Микроколониальные грибы даже растущие на питательной среде в лаборатории при кратковременном улучшении условий сохраняют характерную для них

жизненную форму. Этим свойством обладает широкая группа аскомицетов (из порядков *Dothideales*, *Chaetothyriales* и *Pleosporales*), обитающих в жестких экологических условиях: на поверхности камня, во внутренних органах теплокровных животных, на растительной поверхности [6].

Стойкие микромицеты

Несмотря на уникальную способность к инкапсуляции в микроколонии и неограниченному росту на концах гиф, микромицеты тем не менее не могут спрятаться или целиком изменить свое положение в пространстве. Часть колонии или вся структура должны или полностью соответствовать «мерке» своего местообитания, или вынуждены прекратить существование под воздействием неблагоприятных внешних условий.

Самые стойкие и выносливые обитатели субаэральные биопленки, выработавшие специализированные приспособления к внешним условиям обитания, — микромицеты. Образование пигментов, накопление внутренних запасов питательных веществ, дрожжеподобный рост служат необходимыми морфофизиологическими приспособлениями. Формирование микроколоний с колониальным матриксом, защищающим организм как кластер меланизированных клеток, позволяет грибам переносить самые тяжелые условия жизни.

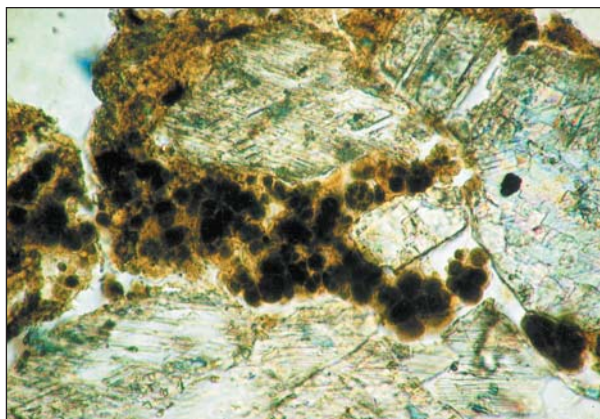
Обычно обработка поверхностей памятников биоцидами или биостатиками не сказывается на обилии и разнообразии микроколониальных грибов или черных дрожжей, в то время как рост почвенных или встречающихся на растительных остатках мицелиальных сапротрофов можно достаточно легко приостановить таким способом. Стойкость микроколониальных грибов к химичес-

ки агрессивным веществам отчасти обусловлена защитной ролью пигментов клеточной стенки как основного адаптивного фактора.

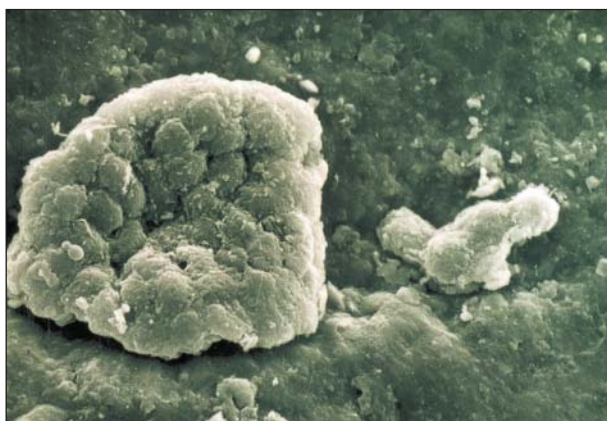
Частицы пыли, оседающие на поверхности камня, взаимодействуют с микробными пленками, ускоряя образование патиноподобных наслоений на этой поверхности. Субаэральные биопленки способствуют ускоренному накоплению атмосферных загрязнителей [7], что позволяет рассматривать их как биологическую (эоловую) ловчую поверхность. Некоторое количество макро- и микроэлементов падает на поверхность камня с осадками или с частицами атмосферного происхождения, которые могут служить источником питательных веществ. Органотрофный организм, обитающий на камне, должен использовать разнообразнейшие органические вещества и транспортировать их внутри колонии на достаточные расстояния, чтобы поддерживать ее целостность и жизнеспособность. Вероятно, потребление и расщепление питательной органики и ее транспортировка внутри колонии обеспечиваются ее внеклеточным матриксом, а точнее — содержащимися в нем ферментами, полисахаридами и водой.

Считается, что в условиях, близких к экстремальным, микроорганизмы помогают друг другу, изменяя условия окружающей среды во многих направлениях. Например, выделяемые в среду микробные метаболиты могут использоваться соседними членами сообщества [8]. Особенно велика роль внеклеточных выделений в обмене информацией и приспособлении сообщества к неблагоприятной среде. Именно биологическим разнообразием обеспечивается сохранность определенной структуры и стабильность микробной системы на поверхности камня.

Представленная группа микромицетов доминирует на по-



Микрофотографии петрографических шлифов мрамора с грибными колониями, поселившимися в структурной трещине. На левой фотографии видны четкообразные гифы (увел.400), а на правой — многочисленные пигментированные колонии, развившиеся не только на поверхности, но и в глубине светлого мрамора.



Сканирующая электронная микрофотография грибной микроколонии на поверхности камня из Австралийской пустыни. Увел.1600.



Колония гриба. Растущая на питательной среде в благоприятных лабораторных условиях, она напоминает головку цветной капусты и схожа с ней по строению. Ее окраска обусловлена многочисленными пигментами (в основном меланинами). Увел. 8.

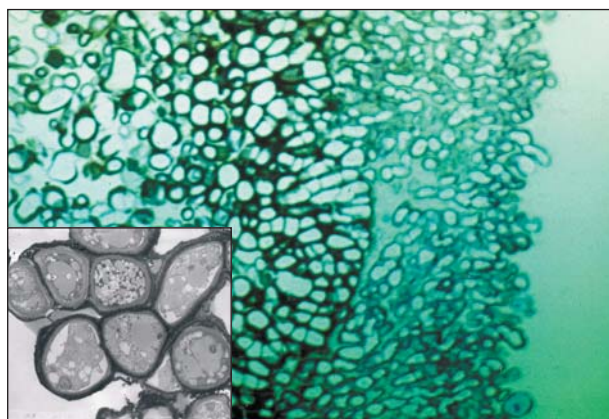
верхностях горных пород во всех климатических зонах. Однако наиболее заметны микроколонии на скальных породах в пустынях или полупустынях, там, где другая микрофлора и другие обитатели каменных поверхностей (например лишайники) уступают давлению

климатических условий. Так, анализ огромного материала, собранного гобийскими экспедициями лишенологов Ботанического института им.В.Л.Комарова, показал, что в самых жестких условиях обитания (при годовом уровне осадков менее 120 мм) лишай-

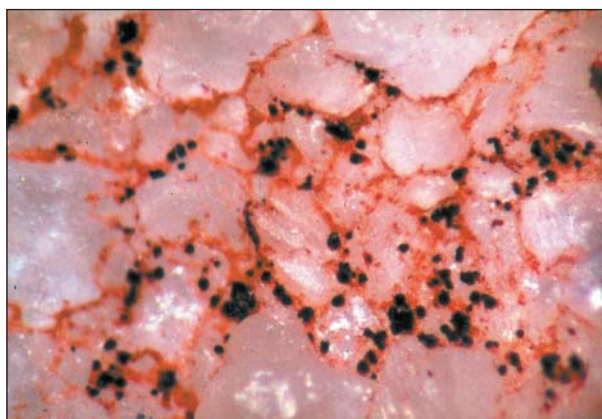
ники встречаются заметно реже [9]. В тех же условиях свободно живущие микроколониальные грибы становятся основными и единственными обитателями поверхностных слоев каменного субстрата. Именно преобладание в столь необычных условиях стало причиной открытия



Фотосинтезирующие микроорганизмы в глубокой трещине мраморной балки (слева). Прикрывавшая трещину чешуя мрамора была легко отделена без применения каких-либо инструментов (перочинный нож использовался только для масштабирования при фотографировании). При более близком рассмотрении заметно, что фотосинтезирующих пигментов на поверхности балки нет, а грибные колонии выросли по всем трещинам мрамора. Увел. 8.



Гистологический препарат грибной колонии. Видна нетипичная для грибов псевдоткань таллома (увел 600), образованная округлыми толстостенными клетками (показано на врезке; увел.3000).



Специально окрашенная поверхность мрамора, на которой видны внеклеточные полисахариды (красная пигментация). Подобные вещества находятся не только на поверхности камня, но распространяются по трещинам и в глубину неорганического материала, тем самым обеспечивая трехмерную связь между отдельными микроколониями.

и описания этой группы в начале 80-х годов Дж.Стейли и коллегами, а жизненная форма грибов — признаком, по которому им было дано название — «микрোকониальные грибы» [10].

В наземных местах обитания грибы играют очень важную роль не только из-за способнос-

ти к минерализации множества органических веществ, но и из-за активного участия в разнообразных биогеохимических циклах: и в почве, и в субаэральных биопленках они разрушают, растворяют и осаждают карбонаты и силикаты. Открытие микрোকониальных грибов, оби-

тающих на камне, пополнило список биологических факторов выветривания в субаэральных условиях.

В поверхностных слоях горных пород развиваются сложноорганизованные сообщества микроорганизмов, которые играют важную роль в выветрива-

нии и во многих других биогеосферных процессах. Микофлора минеральной поверхности, перемещенной из почвы в атмосферу (например, при археологических раскопках мраморно-помятника), непременно меняется под влиянием экспозиции в воздушной среде. Происходящие резкие изменения определяют смену разнообразного почвенного сообщества на специализированное, в котором доминируют пойкилофильные микромицеты.

Сообщества пойкилофильных микромицетов и других микроорганизмов разрушают по-

верхностные слои минеральных субстратов, как механически повреждая камень при росте колоний, так и за счет выделения агрессивных метаболических продуктов — гидролитических ферментов, хелатирующих веществ, пигментов.

Для мраморных памятников Крыма, Греции и Израиля убедительно показано, что под воздействием субаэральных биопленок поверхности горных пород разрушаются гораздо быстрее любого физико-химического выветривания. По результатам полевых и лабораторных экспериментов скорость биологическо-

го выветривания, вызываемого необратимыми изменениями в трещинах материала под давлением микроколоний субаэральных обитателей биопленок, достигает 10 мм за 100 лет.

Таким образом, во всех рассмотренных примерах роста микроскопических грибов на поверхности каменистого субстрата микроколониальная жизненная форма устойчиво преобладает. Эти пойкилофильные организмы выживают в столь сильно меняющихся условиях, которые губительны для всех других многочисленных поселенцев тех же местообитаний. ■

Литература

1. Sterflinger K., Krumbein W.E. // *Botanica Acta*. 1995a. V.108. P.467—538.
2. Исаченко Б.Л. // Докл. АН СССР. 1936. Т.2. С.287—289.
3. Кузнецов С.И., Иванов М.В., Ляликосова Н.Н. Введение в геологическую микробиологию. М., 1962.
4. Gorbushina A.A., Krumbein W.E., Hamann C.H. et al. // *Geomicrobiology Journ.* 1993. V.11. P.205—221.
5. Hoog G.S. de, Hermanides-Nijhof E.J. // *Stud. Mycol.* 1977. V.15. P.178—221.
6. Sterflinger K., Hoog G.S. de, Haase G. // *Stud. Mycol.* 1999. V.43. P.5—22.
7. Saiz-Jimenez C. // *Aerobiologia*. 1995. V.11. P.161—175.
8. Siebert J., Hirsch P., Hoffmann B. et al. // *Biodiversity and Conservation*. 1996. V.5. P.1337—1363.
9. Golubkova N., Zog U. // Ботан. журн. 1974. Т.59. Вып.1. P.43—52.
10. Staley J.T., Palmer F., Adams J.B. // *Science*. 1982. V.215. P.1093—1095.

Чешский археолог Б.Вахала (B.Vachala) обнаружил недавно в пустыне, в 58 км к юго-западу от Каира, надпись на стенах погребального комплекса VI династии. Иероглифы, высеченные 4 300 лет назад, представляют собой запись слов древнейшего любовного романа. В надписи упоминается человек по имени Инти, исполнявший обязанности судьи г.Некхена в период правления императора Пепи I.

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

Сегодня под угрозой исчезновения находятся 5 423 вида

животных (около 30% видов млекопитающих и рептилий и 12% видов птиц) и 5 531 вид растений. Международный союз охраны природы отмечает, что с 1996 г. положение заметно ухудшилось (например, тогда под угрозой исчезновения находились 13 видов приматов, а сегодня уже 19). Более того, для тех зоологических таксонов, численность которых трудно установить (насекомых, ракообразных и т.д.), потери, возможно, учтены не полностью.

Sciences et Avenir. 2001. №645. P.34 (Франция).

Хорошо известно пристрастие древних египтян эпохи Птолемея (конец IV — I в. до н.э.) к бальзамированию кошек и обезьян-бабуинов. Однако на кладбище мумифицированных животных, открытом недавно в Абидосе, что в 550 км к югу от Каира, обнаружены минисаркофаги с мумиями соколов и крыс. Скорее всего соколы олицетворяли бога Ииоруса, а крысы — сердца грешников; те и другие представляли собой подношения богу смерти Осирису.

Sciences et Avenir. 2001. №648. P.11 (Франция).

Палия Гриценко — новый эндемичный вид гольцов Северных Курил

В.М.Стыгар,

кандидат биологических наук

Л.С.Ковнат

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
Москва

Е.Д.Васильева,

доктор биологических наук

Научно-исследовательский зоологический музей

Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова

В июле—октябре 1996—2000 г. Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии организовывал и проводил экспедиции для исследования ихтиофауны северных островов Большой Курильской гряды. В задачи экспедиций входило выяснение видового состава размножающихся в местных водоемах лососей, оценка их численности и изучение биологии и распространения отдельных видов.

Острова Шумшу, Парамушир и Онекотан образовались в основном за счет слияния продуктов извержения соседних вулканов, соответственно для их рельефа характерны вулканические хребты и морские террасы. Гористый рельеф способствовал образованию множества оврагов, ложбин и речных долин, покрытых густыми зарослями кедрового стланика и ольховника, разнотравными лугами, сре-

ди которых встречаются пустоши. Густая гидрографическая сеть всех трех островов обусловлена большой влажностью воздуха, значительным количеством осадков, а также широким распространением осадочных и вулканических пород, влияющих на проницаемость грунтов и накопление влаги. Расстояние между устьями рек и ручьев по побережью колеблется от 2 до 2.6 км, общее их число варьирует от 40 на Шумшу до 140 на Парамушире. На последнем, самом крупном, острове обнаружены явные признаки оледенений четвертичного периода [1], что позволяет датировать эти острова доледниковым периодом.

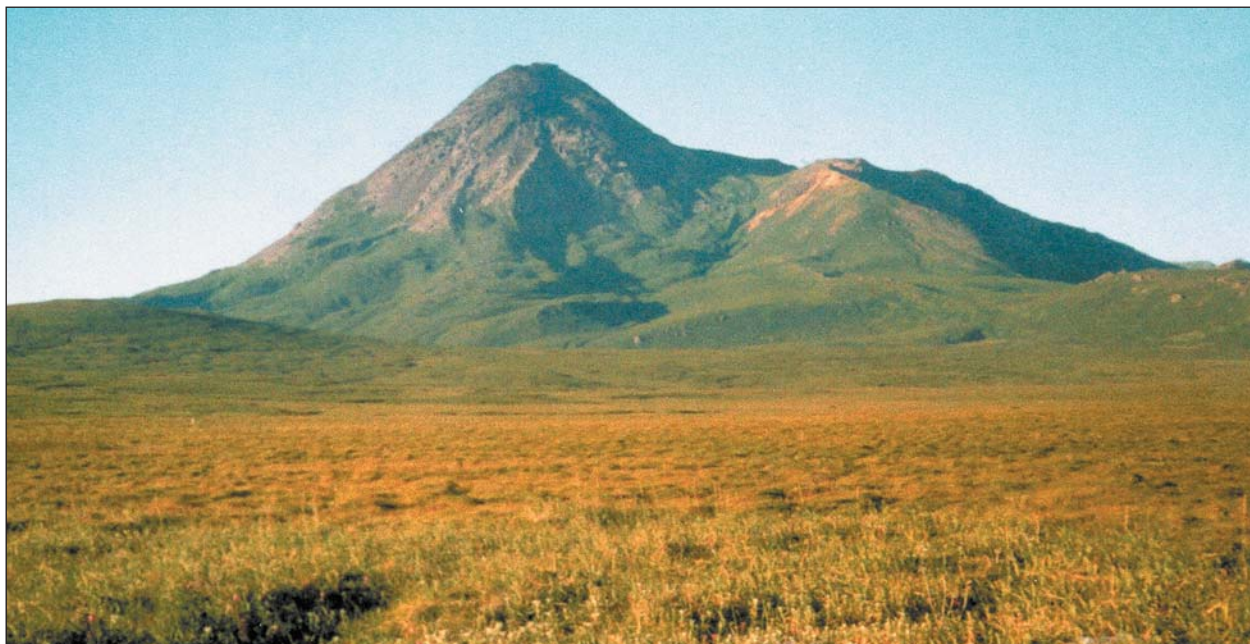
При обследовании водоемов Онекотана, расположенного к юго-востоку от Парамушира и отделенного от него Четвертым Курильским проливом, в августе 1999 г. первые два автора статьи обнаружили в оз.Черном неизвестную пресноводную форму гольца рода *Salvelinus* семейства лососевых (Salmonidae).

Онекотан вытянут в северо-восточном направлении на 42.5 км, его наибольшая ширина равна 17.5 км, наименьшая, в середине, — 7.5 км. Серповидной формы озеро шириной 0.4—0.7 км и глубиной до 100 м простирается с запада на восток примерно на 5 км. Расположено оно на севере острова, у подножья пика Немо — действующего вулкана в северо-восточной части обширной (диаметром более 9 км) кальдеры сложного и древнего вулкана. Со всех сторон озеро окружено высокими сопками. Почти везде труднодоступные, обрывистые и скалистые берега изрезаны оврагами и поросли низкорослым ольховником и кедровым стлаником. Лишь с востока и запада берега — пологие, песчано-галечные, резко уходящие под воду. Озеро бессточное, в него не впадает ни одна река, но уровень воды постоянен. Очевидно, озеро пополняет свои запасы за счет расположенных на дне горячих минеральных источников, а также атмо-

© В.М.Стыгар, Л.С.Ковнат,
Е.Д.Васильева



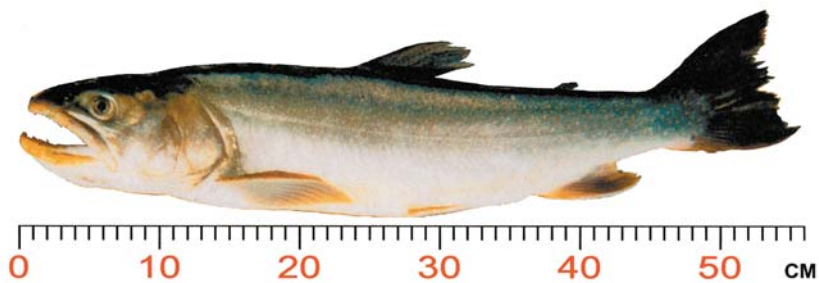
Бухта Немо в низовье р.Широкой — единственное удобное для высадки место на о.Онекотан, откуда можно довольно быстро (два часа пешком) добраться до оз.Черного.



Вулкан Немо, у подножья которого скрывается оз.Черное.



*Оз.Черное с чистойей
родниковой водой.
Для исследований рыбу
вылавливали с помощью
25-метровых сетей.*



*Палия Гриценко. Пойманные
рыбы заметно отличались по
размеру, окраске тела
и плавников.*

сферных и грунтовых вод. С юга к озеру примыкает травянистое болото, которое вблизи моря осушается вытекающей из него небольшой речушкой. Вода в озере пресная, чистая и прозрачная (видимость более 10 м). Зимой его почти полностью сковывает лед толщиной до 0.5 м, и только со стороны вулкана остаются незамерзающие участки. В августе 1999 г. температура поверхностного слоя воды в прибрежье достигала 14°C.

По-видимому, обнаруженный голец находился в оз.Черном в длительной изоляции от других популяций данного региона, и потому его можно с определенной долей уверенности считать реликтом доледникового периода. В ледниковый период он мог сохраниться в озере благодаря активной вулканической деятельности, обеспечившей особый микроклимат в этом рефугиуме. Наше предположение подтвердилось, когда был проведен сравнительно-морфологический анализ собственных и литературных данных по разным таксонам и дискуссионным формам голецов рода *Salvelinus*. Оказалось, что обнаруженный голец по ряду морфологических характеристик наиболее близок к северной (*S.malma*) и южной мальме (*S.krascheninnikovi*), видовая обособленность которых выявлена в настоящее время в результате генетических исследований [2]. Одновременно он существенно отличается от обоих упомянутых видов (а также других номинальных таксонов) по совокупности краниологических характеристик. Это позволило нам описать нового вида — палия Гриценко (*S.gritzenkoi*) [3]. Он назван в честь известного российского ихтиолога Олега Федоровича Гриценко, посвятившего долгие годы исследованиям ихтиофауны Дальнего Востока. Благодаря усилиям Олега Федоровича была организована серия экспедиций на Курильские

о-ва, в том числе в 1999 г., когда и был собран материал по новому виду.

Рыбу вылавливали с помощью 25-метровых ставных сетей из мононити с ячейей 15—45 мм. Из всех выловленных в период с 12 по 25 августа палий (110 особей) 36.4% оказались самцами, которые были несколько крупнее самок: в среднем длина тела самцов 46.1 см, масса — 1323 г, а самок соответственно 39.7 см и 587.6 г. Все рыбы оказались половозрелыми. В период проведения исследований половые железы у большинства из них соответствовали II (32.5% самцов и 45.7% самок) или III (соответственно 62.5 и 52.8%) стадиям зрелости и лишь у некоторых (5% самцов и 1.4% самок) — IV стадии. Гонадо-соматический индекс (отношение массы гонад к массе тела без внутренностей) у самок составлял в среднем 1.3%, а у самцов — 0.4%, тогда как у проходных голецов, выловленных в то же время вблизи оз.Черного, в р.Широкой, этот показатель был значительно выше и составлял у самок 2.8%, у самцов 1.2%, а у голецов из мелководного изолированного Большого Черного озера на Парамушире достигал у самок 7.3%, у самцов 2.0%. На основании полученных данных можно полагать, что палия Гриценко размножается зимой, т.е. позже проходной мальмы и пресноводных голецов из других водоемов Северных Курил.

Палия Гриценко, по-видимому, единственный вид рыб, обитающий в олиготрофном (с невысоким уровнем первичной продукции) озере. Среди изученных особей у 70% желудка были пусты, а у 10% сравнительно крупных рыб обнаружены экзemplяры меньших размеров того же вида. В желудках остальных встречались разнообразные рачки семейства *Gammaridae* (4.5%), летающие насекомые (3.6%) и растительность. Примечательно, что при высокой численности палии (за сутки лова

в одну сеть, выставленную в прибрежье с пологим дном на глубинах от 1 м до 10 м в западной части озера, попадалось от 22 до 30 рыб) обеспеченность их здесь пищей явно недостаточна. Об этом свидетельствует невысокая упитанность рыб (средний коэффициент упитанности по Кларку у самцов в среднем 1.0, а у самок — 0.9), а также то, что при ловле удочкой они захватывали любую наживку.

Исследование возрастной структуры и темпа роста палии Гриценко, проведенное позднее сотрудниками кафедры ихтиологии Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова на собранном нами материале, показало, что озерные гольцы образуют две группы особей. Мелкие раносозревающие рыбы с относительно коротким жизненным циклом характеризуются более низкой плодовитостью и чаще нерестятся ежегодно, тогда как крупные гольцы созревают позднее, размножаются не каждый год и живут дольше. У всех рыб на протяжении жизни происходит смена темпа роста. До периода полового созревания особи растут относительно быстро, затем этот процесс замедляется, а через несколько лет вновь ускоряется на фоне приостановления полового созревания. Это ускорение темпа роста в старших возрастных группах, видимо, связано с тем, что крупные особи становятся каннибалами. Именно в этот период (который может растянуться на несколько лет) происходит быстрый линейный и весовой рост, и только после достижения определенных размеров особи вновь приступают к размножению, при этом темп роста опять замедляется. Поскольку переход к каннибализму у разных рыб происходит не одновременно (а возможно, и не всегда), гольцы одного возраста могут существенно отличаться по длине и массе тела.

Относительно высокая изменчивость у палии Гриценко

проявляется не только по биологическим показателям роста и развития, но и во внешнем облике [3, 4]. Например, только что пойманные рыбы заметно отличались по окраске тела и плавников. Особи длиной 20—30 см в основном серебристые, с хорошо заметными многочисленными красными и немногочисленными желто-оранжевыми пятнами; грудные, брюшные и анальный плавники — красновато-оранжевые, часто с белым окаймлением. Более крупные рыбы обычно серебристо-сероватые, иногда очень темные (особенно голова и спина), заметно выделяется серебристый хвостовой плавник, а красные пятна на теле едва заметны. Встречаются также крупные особи с желтоватым оттенком в окраске тела и плавников. Число и размеры красных и желтовато-оранжевых пятен на теле, которые концентрируются в основном на нижней части боков, сильно варьируют. Полость рта у всех рыб темная, мышечная ткань — белая, у некоторых экземпляров хвостовые мышцы со слабой желтизной. Наблюдаемое разнообразие в пропорциях и форме отдельных частей тела и головы у палии Гриценко в значительной степени связано с размерной и половой изменчивостью ряда морфологических характеристик. Особенно это отражается на форме грудных плавников, задний край кото-

рых у отдельных, особенно крупных, становится ступенчатым из-за более длинных перьев лучей плавника.

Таким образом, даже на основе предварительных данных биологии палии Гриценко, сформировавшиеся в экстремальных трофических и своеобразных гидрологических условиях оз.Черного и позволивших обеспечить воспроизводство и выживание этого эндемичного вида. Это, прежде всего, его высокая морфоэкологическая пластичность, благодаря которой реализуется смена жизненной стратегии в онтогенезе особей, позволяющая старшим возрастным группам перейти на более высокий трофический уровень, а всей популяции в целом приобрести более сложную возрастную структуру и соответственно увеличить общее генетическое разнообразие и устойчивость. По-видимому, как приспособление, позволяющее удлинить период откорма особей, следует также рассматривать и переход палии Гриценко к более позднему нересту, возможному благодаря уникальному гидротермальному режиму вулканического озера.

К настоящему времени палия Гриценко обнаружена только в оз.Черном на о.Онекотан. Конечно, полностью исключить вероятность нахождения ее еще в каких-то изолированных озерах Курильских о-вов нельзя.

Однако до сих пор существование других, подобных Черному, глубоких доледниковых вулканических озер с выходами горячих источников, не препятствующих существованию рыб из-за повышенной минерализации, нам не известно. Поэтому особенности биологии нового эндемичного вида, позволившие ему сохраниться до наших дней и в свою очередь сформировавшиеся в результате преодоления неблагоприятных условий и длительной изоляции, представляют несомненный интерес — и не только в связи с практическими проблемами сохранения биологического разнообразия (в том числе и данного вида), но и в теоретическом аспекте. К сожалению, сейчас мы располагаем данными, полученными в течение лишь одного кратковременного экспедиционного сезона.

Безусловно, новый эндемичный вид гольца нуждается в дальнейших исследованиях, направленных на разработку стратегии его охраны, а также выяснения происхождения и родственных связей этой реликтовой формы с привлечением современных методов генетического анализа. ■

Авторы благодарны старшему районному инспектору Северокурильской рыбинспекции В.И.Гайдукову за неоценимую помощь при сборе материала.

Литература

1. Корсунская Г.В. Курильская островная дуга (физико-географический очерк). М., 1958.
2. Фролов С.В., Фролова В.Н. // Биология моря. 1999. Т.25. №5. С.407—409.
3. Vasil'eva E., Stygar V. // Folia Zool. 2000. V.49. №4. P.317—320.
4. Савваитова К.А., Гриценко О.Ф., Груздева М.С., Кузищин К.В. // Вопр. ихтиологии. 2000. Т.40. №6. С.743—763.

Музей-заповедник «Аркаим» в Стране городов

Вести из экспедиций

Г.Б.Зданович,

кандидат исторических наук

Челябинский государственный университет

И.В.Иванов,

доктор географических наук

Л.Н.Плеханова

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
г.Пушино*

Ежегодно комплексная историко-археологическая экспедиция Челябинского государственного университета выезжает в степное Зауралье. В составе экспедиции не только историки, археологи, этнографы и антропологи, но и естественники — геологи, географы, почвоведы. Достаточно долгое взаимодействие специалистов, работающих на стыке наук, привело к открытию в этом районе группы удивительных памятников.

В 1987 г. экспедиция (тогда еще просто археологическая) под руководством одного из авторов этой статьи, Г.Б.Здановича, появилась в долине рек Большая Караганка и Утяганка для археологической разведки в ложе строящегося Большекараганского водохранилища, которое сооружалось для нужд межхозяйственной оросительной системы юга Челябинской обл. В ходе работ было открыто хорошо сохранившееся укрепленное поселение — городище Аркаим, памятник неизвестного в то время типа поселений бронзового века в степ-

ной Евразии. Развернулась беспрецедентная двухгодичная борьба с Министерством мелиорации и его структурами за сохранение памятника, перипетии которой освещались в местной и даже центральной печати. К счастью, строительство водохранилища было прекращено. В апреле 1991 г. появилось распоряжение Совета Министров РСФСР о создании здесь филиала Ильменского государственного заповедника. Ныне историко-культурный и природно-ландшафтный заповедник «Аркаим», расположенный в 450 км от Челябинска, на границе Кизильского и Брединского районов, включает в себя базовую территорию площадью 3761,4 га и 14 филиалов площадью 653,2 га [1]. Но это лишь часть территории, которую условно называют Страной городов.

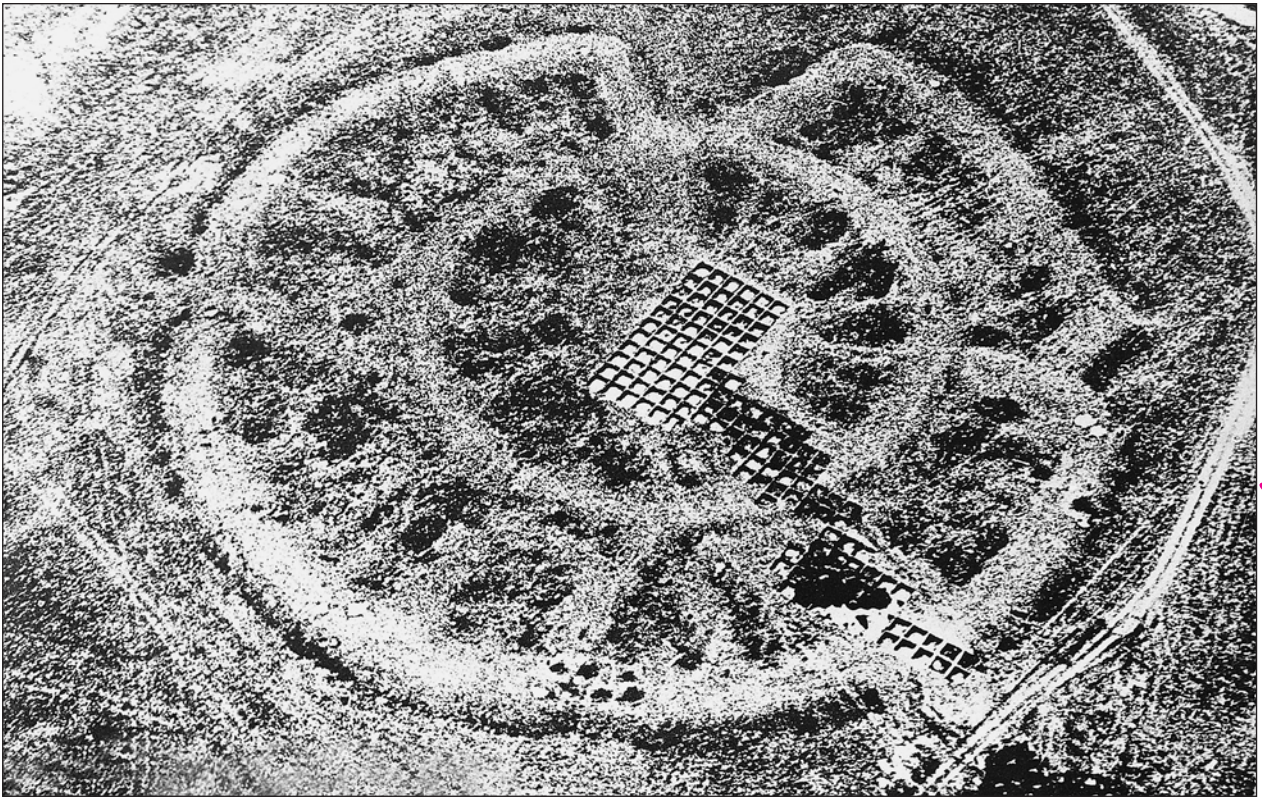
Археологические памятники

Эта страна протянулась вдоль восточных склонов Уральских гор более чем на 300 км с севера на юг и на 120—150 км

с запада на восток. Археологические исследования, проведенные на основе дешифрирования материалов аэрофотосъемки [2], позволили обнаружить в 17 пунктах этого степного района укрепленные центры (их 21) и связанные с ними могильники, относящиеся к эпохе средней бронзы (рубеж 3—2-го тысячелетия до н.э.). Поселения имеют в плане форму овалов, кругов, квадратов, которые «вписаны» древними жителями в живописные степные ландшафты.

На базовой территории заповедника насчитывается более 70 археологических памятников разного возраста, а всего их, включая филиалы, — около 400. Наиболее известен Аркаим, который называют городом металлургов и гончаров, городом-храмом, городом-обсерваторией.

Несмотря на вполне почтенный возраст — 3600—3700 лет, основные контуры этого поселения хорошо выделяются на современной степной поверхности. С высоты птичьего полета видны развалы оборонительных стен и жилищ, центральная площадь и входы. К началу рас-



Городище Аркаим. Вид с высоты птичьего полета.
Фото из архива заповедника

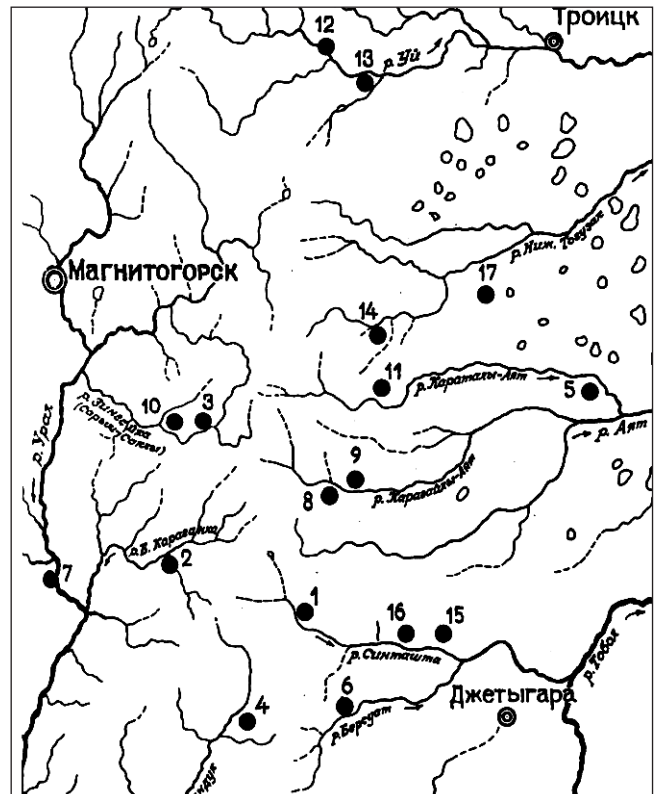
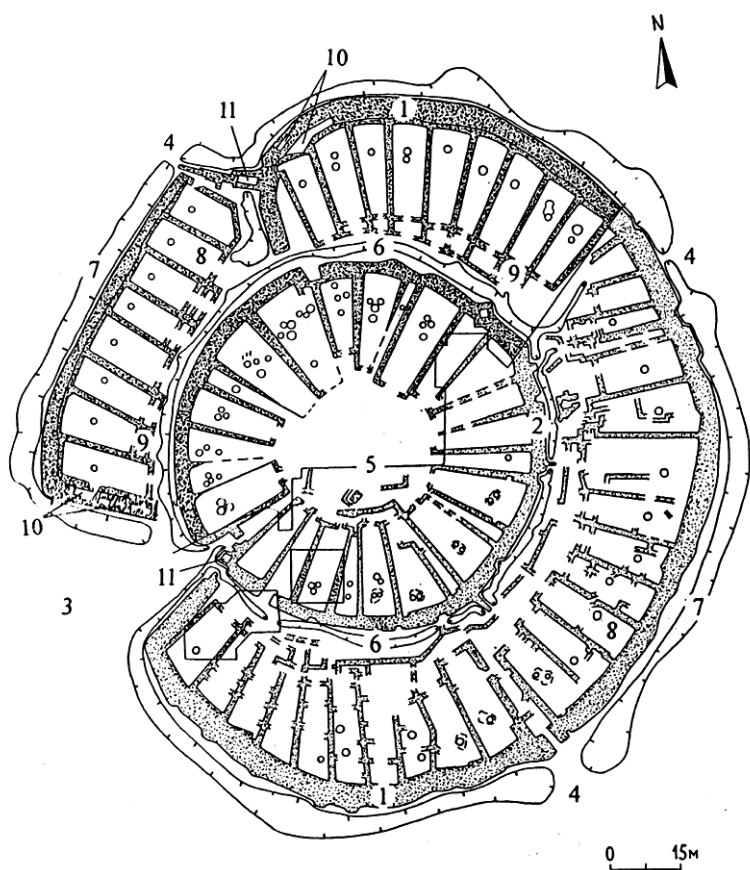
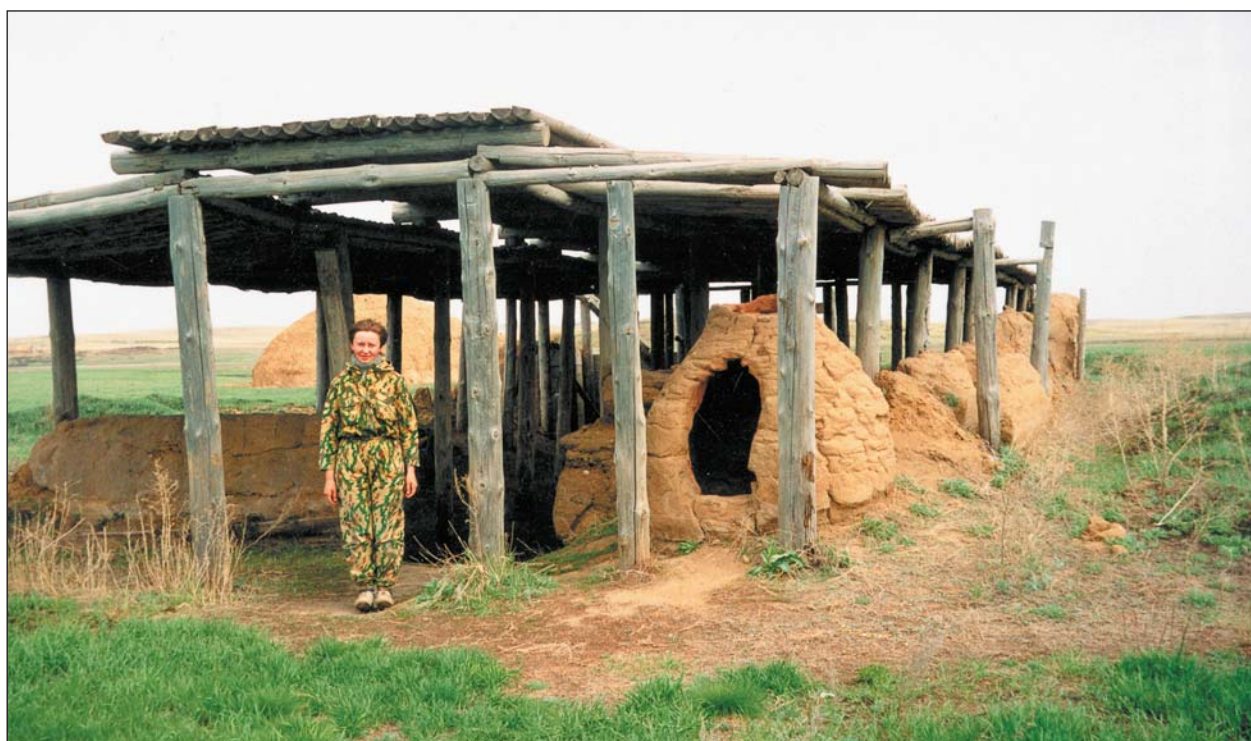


Схема расположения укрепленных поселений и некрополей эпохи бронзы XVIII–XVI вв. до н.э., составленная И.М.Батаниной.
1 – Синташта-I, 2 – Аркаим, 3 – Сарым-Саклы, 4 – Аландское, 5 – Исиней, 6 – Берсуат, 7 – Кизильское, 8 – Журумбай, 9 – Ольгинское, 10 – Куйсак, 11 – Родники, 12 – Степное, 13 – Черноречье III, 14 – Устье, 15 – Андреевское, 16 – Синташта-II, 17 – Чекотай.



Планировка поселения Аркаим (раскопки Г.Б.Здановича). Тонем показана зона исследований. 1 — внешняя оборонительная стена, 2 — внутренняя оборонительная стена, 3 — главный вход, 4 — дополнительные входы, 5 — центральная улица с ливневой канализацией и очистными сооружениями, 6, 7 — рвы, 8 — жилища, 9 — дворы, 10 — помещения внутри оборонительных стен, 11 — основание привратной башни.



Реконструкция аркаимского дома — сегмента города круговой планировки. У входа в каждое жилище располагалась печь для обжига керамики.

Здесь и далее цветные фото Л.Н.Плехановой



Крыша восстановленного аркаимского дома. На заднем плане — жилище каменного века (реконструкция).



Погребальная архитектура бронзового века. Памятники перенесены из разных районов Челябинской обл. На заднем плане — курган Темир (IV в. до н.э.), единственный в России реконструированный после раскопок памятник сарматской эпохи.

копок на Аркаиме сохранились два кольца оборонительных сооружений, вписанных друг в друга, два круга жилищ — внешний и внутренний, и центральная площадь. У внешнего, очерченного обводной стеной, диаметр около 150 м, ширина стены по основанию 4–5 м. Сделана она из бревенчатых клетей размером примерно 3×4 м², залитых грунтом с добавлением извести, а снаружи облицована сырцовыми блоками. С внутренней стороны к ней примыкали торцы жилищ. Верх стены был усилен двумя параллельными частоколами бревен, промежуток между которыми заполнялся дерновыми пластами. Выходы жилищ внешнего круга обращены к единственной кольцевой улице шириной около 6 м, которая проходила через все поселение параллельно стене цитадели. В древности мостовая была покрыта деревянным настилом, под ней существовала хорошо продуманная система ливневой канализации. Внутренний круг, очерченный стеной цитадели, имел диаметр 85 м, толщина стены — 3–4 м. Как и во внешнем круге, жилища внутри цитадели располагались радиально, но с выходом на центральную площадь.

Почти в каждом жилище имелась бронзоплавильная печь, соединенная воздушным каналом с колодцем. Таким образом создавалась тяга, способствующая быстрому достижению высоких температур, необходимых при выплавке бронзы. По периметру дна колодца были устроены жертвенники, состоящие из нижних челюстей животных, пригвожденных деревянными кольшками, — материальное воплощение мифа о воде, рождающей огонь. В каждом жилище обнаружена печь для обжига керамики, попадались отопительные печи разных конструкций. В деревянной крыше с земельным перекрытием имелось дымовое отверстие. Вероятно, жизнь в городе кипела и на крышах жи-

лищ, создававших дополнительную площадь.

Казалось бы, главный, западный вход в городище отмечен разрывом кольца внешней стены. Здесь стена и ров резко поворачивают в глубину поселка и смыкаются с конструкциями цитадели. Однако на участке излома ров не только не прервался, но стал более широким и глубоким. Со стороны поселения сохранился мощный фундамент башни, которую с полным основанием можно назвать надвратной. Этот вход был ложным, и незваные гости, устремлявшиеся в прогибы стен, могли попасть под град стрел, летящих с трех сторон. Настоящий главный вход в поселок находился в боковой северо-западной стене. Он имел ширину около 6 м и выходил сразу на круговую улицу. Стена цитадели была сплошной и нигде не прерывалась, за исключением одного участка к востоку от сектора главного входа. Чтобы попасть на территорию внутреннего круга поселения, нужно было проехать по всей длине круговой улицы. Только в ее конце через особые ворота можно было проникнуть к центральной площади, где совершались, видимо, в основном ритуальные действия, и окружающим ее жилищам.

Своеобразная столица Страны городов, Аркаим, — современный крито-микенской цивилизации Средиземноморья и Среднего Царства Египта, первых государственных образований Месопотамии.

Аркаим относят к памятникам синташтинского пласта культур. Поселение и группа могильников такого типа впервые были исследованы на р. Синташта в Брединском районе еще в 70 — начале 80-х годов и отнесены к памятникам андроновской общности эпохи бронзы [3, 4]. Полагают, что их жители — ранние индоиранцы [5]. Эти поселения представляли собой скорее всего места обитания скотоводческо-земледельческих общин, а урбанизиро-

ванный характер приобрели как очаги производства металлических изделий.

По данным реконструкций, на малой площади аркаимских поселений концентрировались до двух-трех тысяч человек, что позволяет считать их протогородами. Можно предположить, что задолго до греков аркаимцы создали систему, близкую классическому средиземноморскому полису.

Научные направления работы заповедника

Музей-заповедник сложился как культурно-просветительский центр и полигон для научных исследований. Ко времени принятия официальных документов о создании заповедной территории было раскопано 8 тыс. м² территории городища (чуть менее половины), большое количество погребальных сооружений — от эпохи бронзы до средневековья, — раскрывающие историю заселения региона. Для лучшего понимания исторических процессов и их представления в музейных экспозициях проводится специальное опытно-экспериментальное моделирование [6]. Так, по материалам раскопок городища Аркаим восстановлен внешний облик жилища, построены печи разного типа и назначения, произведена выплавка бронзы из местных аркаимских руд, месторождения которых установлены геологами. В заповеднике действуют экспериментальные площадки по технике обработки камня (неолит), гончарству, ткачеству, функционирует музей печей, с действующими моделями разного назначения. Построена модель-копия кургана Темир (раннего железного века), внутри которого размещена экспозиция погребального обряда. Созданы также реконструкции погребальных памятников эпохи бронзы и средневековья из привезенных с мест раскопок материалов. Комплекс моделей-

реконструкций получил название Исторического парка.

В заповеднике созданы условия для охраны этнографических объектов. Здесь сохранились башкирские зимовки, русское поселение эпохи колонизации края. На территорию Исторического парка перевезена и восстановлена ветряная мельница начала прошлого века.

Открытие финансирования позволило пригласить для работы в Аркаиме специалистов в области естественных наук из Москвы, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга, Новосибирска и других научных центров.

Природа заповедника

Заповедник находится на восточном, наиболее разрушенном, склоне Уральского хребта. В обнажениях горных пород на склонах горы Лысой (в народе — Шаманихи), сохранившейся части палеовулкана, можно увидеть вулканические «бомбы» и застывшую лаву. 350 млн лет назад здесь располагалась вулканическая гряда. В геоморфологическом отношении — это провинция Зауральского пенеплена, сформированная в мезозое в результате денудации Уральской горной области. Здесь имеются многочисленные месторождения меди, широко использовавшиеся и в древности.

На Ландшафтной карте СССР территория заповедника отнесена к Уральской равнинно-горной стране, степной области, ковыльно-типчаковой степной провинции. Среди природных ландшафтов выделяются степные, лесные и луговые (пойменные) экосистемы.

Здесь проходит один из главнейших глобальных орогидрографических рубежей — Урало-Тобольский водораздел, отделяющий евразийскую бессточную область от бассейна Северного Ледовитого океана. На незначительной площади можно наблюдать грядово-холмистый рельеф, обусловленный

выходами палеозойских пород. На большей части территории рельеф сnivelирован в результате процессов денудации до равнинного.

Аркаимская долина — обособленное равнинное урочище, расположенное в месте схождения двух степных рек — Большой Караганки и Утяганки. Отметки высот на базовой территории заповедника составляют 314—398 м над ур.м. Долина окаймлена приречным мелко-сопочником со средними высотами 360—375 м над ур.м., с невысокими, довольно крутыми холмами, сложенными кислыми и основными изверженными породами (риолитами и базальтами). Склоны сопок и пространства между ними испещрены многочисленными западинами и оврагами, образующими единую систему стока поверхностных и грунтовых вод. Особенность долины — отсутствие типичных речных террас, которые замещены системой аллювиально-озерных поверхностей — следами былых озер позднего плейстоцена и голоцена.

Климат территории резко континентальный, с малоснежной и холодной зимой, сухим и жарким летом. Средние температуры января $-(16-20)^{\circ}\text{C}$, июля $18-20^{\circ}\text{C}$, осадков выпадает 250—300 мм/год, из которых 45% летом и 10—12% зимой. Годовая испаряемость в два раза превышает годовое количество осадков. Средняя максимальная мощность снежного покрова не превышает 25 см. Характер летних осадков преимущественно ливневый. Район подвержен засухам, частым суховеям, развита водная и ветровая эрозия почвы.

Достаточно сложное устройство ландшафтов заповедника (их в зависимости от геолого-геоморфологических и почвенно-растительных условий можно разделить на шесть групп) обусловило разнообразие путей их эволюции в голоцене [7].

В развитии почв нашли отражение направленные и цик-

лические изменения климата и биоты, динамика осадконакопления, делювиообразования и эрозии, колебания уровня грунтовых вод, засоления и рассоления и многих других природных явлений. Детальное изучение эволюции почв, палинологических спектров, типов отложений Аркаимской долины и прилегающих территорий позволяет реконструировать палеогеографические обстановки в голоцене, и в частности экологические условия жизни обществ различных эпох [7, 8], выделить кризисные и оптимальные экологические эпохи для голоцена, вызванные изменениями гидротермических и климатических условий. Палеобиологические исследования на археологических памятниках позволили раскрыть изменения состава домашних животных. Разрабатываются методы определения состава и качества заупокойной пищи, находившейся в погребальных сосудах, — по пригарам на древней керамике, химическому составу грунта, заполнившего сосуд [6].

Современную растительность заповедника можно охарактеризовать как производную от разнотравно-типчаково-ковыльных степей с вкраплениями осиново-березовых, лиственнично-березово-сосновых колков, луговой степи, полынно-типчаково-ковыльной и полынно-типчаковой степи, солонцов и солончаковых комплексов. Экосистемы былых сенокосов и пастбищ, занимающие две трети заповедника, восстанавливают свою структуру за счет семенных и вегетативных зачатков, хранящихся в почве [7].

Общее количество сосудистых растений, зафиксированных в заповеднике, составляет 720 видов, кроме того, в аннотированный список не включены еще около 50 видов, найденных в последние годы. Эндемичных видов зарегистрировано 23, реликтовых 13, занесенных в «Красную книгу России» 13 [9].



Северные склоны сопок на базовой территории заповедника заняты колковыми лесами.



На заднем плане – гора Лысая (Шаманиха). Видно тело плотины, которая должна была перекрыть реку при строительстве водохранилища.



В этой почве, обнаруженной на городище Аландское в Оренбургской обл., заметны два этапа развития. Современный солонец осолоделый сформировался по древней черноземно-луговой почве.

В заповеднике проводятся систематические наблюдения за фауной, начаты работы по ее ревизии на прилегающих территориях [7]. К настоящему времени здесь насчитывается 35 видов млекопитающих, 146 видов птиц, из них три (красавка, стрепет, орел-могильник) были внесены в «Красную книгу РСФСР»; 21 вид рыб; насекомых, по предварительным оценкам, здесь обитает около 1000 видов, причем 20 из них были внесены в «Красные книги РСФСР и СССР»; 224 вида бабочек. Все работы по учету фауны ведутся с привлечением специали-

Естественная разнотравно-ковыльная степь сохранилась в окрестностях заповедника только на склонах сопок.



Виды с горы Чека — самой высокой точки юга Челябинской обл. (607 м над ур.м.).



тов из академических институтов России.

Через восемь-девять лет после введения заповедного режима степь зацвела «всеми цветами радуги». Здесь прекрасно себя чувствуют степные сурки и лисицы, барсуки и зайцы, облюбовали территорию заповедника легконогие косули. Периодически численность животных становится настолько высокой (например, ежей в 2000 г. или степных гадюк в 2001 г.), что напоминает нашествие. Зайцы давно смотрят на сотрудников заповедника свысока, не считая своим долгом дать

стрекача — лениво, «пешком» освобождают дорогу.

Ежегодно за летний сезон, с мая по октябрь, заповедник посещает до 15 тыс. туристов. Скудость финансирования заставляет нас принимать такое количество туристов и ради собственного выживания. Приходится «распределять» их так, чтобы в посещаемой зоне, на границе заповедника, концентрировались не более 100 человек в день. Для сохранения природных ландшафтов в заповеднике, претендующем на статус биосферного, территория была разделена на следующие

зоны: полного заповедания (500 га на юго-западе территории, 600 га в восточной части, 550 га в районе пойменных лугов рек Большой Караганки и Утяганки), в котором полностью запрещена хозяйственная деятельность и рекреационные нагрузки; самовосстановления природных экосистем (центральная часть заповедника), где расположены основные площадки для наблюдений сукцессионных смен и других изменений сообществ; рациональной поддержки степных ландшафтов (800 га холмистой степи и 450 га южной равнинной сте-

пи). Поскольку степной ландшафт требует умеренной, экологически выверенной нагрузки, на этих участках рекомендовано сенокосение и даже ограниченный выпас крупного рогатого скота или лошадей.

Зона рекреации площадью 100 га расположена на западной кромке заповедника и за его пределами, на правом берегу Большой Караганки. В ней находятся туристический комплекс, автостоянка, столовая, участки пешеходных маршрутов, гора Лысая, канал к северу от горы, Исторический парк, музей, объекты научной лаборатории на левом берегу.

Характер экспозиций музея-заповедника, где на конкретных объектах демонстрируется неразрывная взаимосвязь природы и человека, где природные и антропогенные ландшафты сочетаются с моделированием исторических объектов, создают на Аркаиме особую среду для

экологического воспитания человека. Вскоре растительный и животный мир, полезные ископаемые, почвы и водные ресурсы на разных этапах их освоения человеком станут неотъемлемой частью экспозиции музея «Человек и природа Южного Урала», который возводится в непосредственной близости от археологических памятников, что позволит в одной экскурсии объединить музейные экспонаты и реально существующие объекты.

Прошло 10 лет с тех пор, как «Аркаим» стал заповедником. Открытие памятника, борьба за его спасение, первые полученные здесь научные результаты широко отражались в средствах массовой информации, что естественно привлекало к «Аркаиму» интерес. Заповедник становится все более популярным объектом [1].

Однако в то же время вокруг «Аркаима» формировалась,

к сожалению, также и некоторая мистическая атмосфера, связанная с интерпретацией его особенностей в духе астрологии, экстрасенсорики, идей экзотических религиозных течений, что не может не наражаться [2, 10]. Проблем у заповедника немало, «поле» необходимых исследований с каждым годом растет, а денежное довольствие остается прежним. Преодолеть наши трудности помогло бы большее внимание к нашему заповеднику со стороны федеральных властей, Российской академии наук, достойное финансирование работ, которые сегодня ведутся специалистами почти на голом энтузиазме.

«Аркаим» — гордость России, он так же уникален для нашей страны, как пирамиды для Египта и Стоунхендж для Англии. Хотелось бы, чтобы и Страна городов стала известной всему миру. ■

Литература

1. Аркаим. 1987—1997. Библиографический указатель / Сост. Д.Г.Зданович, Е.И.Кочан, Н.Н.Орлова. Челябинск, 1999.
2. Аркаим: Исследования. Поиски. Открытия. По страницам древней истории Южного Урала / Под ред. Г.Б.Здановича. Челябинск, 1995.
3. Генинг В.Ф., Зданович Г.Б., Генинг В.В. Синташта: археологические памятники арийских племен Урало-Казхастанских степей. Челябинск, 1992.
4. Зданович Д.Г. Синташтинская общность: социальные основы квазигородской культуры Южного Зауралья эпохи средней бронзы. Челябинск, 1997.
5. Кузьмина Е.Е. Откуда пришли индоарии? М., 1994.
6. Археологический источник и моделирование древних технологий; Труды Музея-заповедника «Аркаим». Челябинск, 2000.
7. Природные системы Южного Урала / Под ред. Л.Л.Гайдученко. Челябинск, 1999.
8. Иванов И.В., Чернянский С.С. // Почвоведение. 1996. №9. С.1045—1055.
9. Моисеев Д.А. Аннотированный список высших растений Музея-заповедника «Аркаим» и его окрестностей. Челябинск, 1998.
10. Шнирельман В.А. Россия и Восток: взгляд из Сибири // Материалы и тезисы докладов к 11 Международной научно-практической конференции (Иркутск, 13—16 мая 1998 г). Иркутск, 1998. С.164—166.

Флюидизаты требуют внимания

Л.В.Махлаев, И.И.Голубева

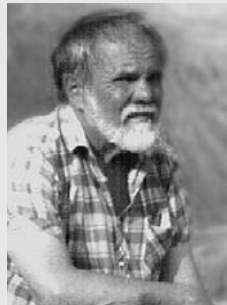
В последнее десятилетие XX в. на страницах геологических изданий стало часто появляться слово **флюидизат**, а также непривычные названия горных пород, формирующихся в процессе эволюции так называемых флюидно-эксплозивных систем, — *туффизиты, ксено-туффизиты, интрузивные пирокластиты, валунные дайки, эруптивные псевдоконгломераты* и др. Появились и публикации, предлагающие рассматривать флюидизаты и туффизиты в качестве особых классификационных подразделений (таксонов) горных пород — групп или даже классов [1, 2].

Повышенный интерес к этим объектам обусловлен необычностью их состава, строения, облика и размещения. Но, конечно, главная причина заключается в том, что с ними нередко ассоциируются месторождения полезных ископаемых — черных, цветных, редких и благородных металлов, алмазов.

Мы предлагаем вниманию читателя краткий обзор истории изучения флюидизатов, а также свои соображения по поводу их положения в современной петрографии.

Скрытое противоречие в классификации горных пород

В любой науке заполнение новой клетки в классификационной таблице — событие незаурядное. И чем выше иерархический уровень, которому эта клетка принадлежит (выше ранг соответствующего таксона), тем более знаменательно такое событие. Например, для таксонов высокого ранга, таких как тип и класс, открытие нового подразделения в данном разряде может отстоять от предыдущего на многие десятилетия и даже



Лев Васильевич Махлаев, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией петрографии Института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, профессор кафедры геологии Сыктывкарского государственного университета. Область научных интересов — геология арктических регионов России, геология и петрология пород гранитно-метаморфического слоя литосферы.



Ирина Игоревна Голубева, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории региональной геологии того же института. Специалист в области геологии и петрологии метаморфических пород и флюидизатно-эксплозивных систем.



Полированный штупф магматического флюидизата — взрывной псевдоконгломерат с икнибриновым цементом (материал валунной дайки в туффизитах Малой Лемвы). Хорошо видны пламеобразные обособления темного девитрифицированного стекла — фьямме. Обломки сложены лемвинскими гранитами и риолитами. Характер деформации риолитовых фрагментов свидетельствует о том, что слагающий их материал сохранял еще во время образования валунной дайки пластичное (полурасплавленное) состояние.

больше*. А для хорошо разработанных и устоявшихся классификационных схем такое событие вообще крайне мало вероятно.

Основы систематики горных пород были заложены на рубеже XVIII и XIX вв. трудами А.Вернера, М.В.Ломоносова, Ч.Лайеля, Дж.Хеттона и других основоположников геологии, и существующая петрографическая классификация весьма консервативна. Действительно, даже открытия видов горных пород (таксономических подразделений низшего ранга) в последние два десятилетия были столь редки, что их можно пересчитать по пальцам. Тем не менее анализ петрографических публикаций свидетельствует, что именно сейчас назрела необходимость выделения в систематике горных пород нового высокорангового подразделения — сообщества флюидизатов или представляющих его туффизитов.

В петрографии высший иерархический уровень, как и в других классификационных схемах, занимают типы. Их всего три, и выделены они по способу образования горных пород: магматические, осадочные (седиментогенные) и метаморфические. Такое разделение отражено во всех учебниках и справочниках, а также закреплено нормативно в «Петрографическом кодексе» России [3].

Магматическими называют горные породы, сформировавшиеся в процессе остывания при-

родных расплавов. В XIX в., да и в начале XX в., их нередко называли первичными, что следовало из господствовавших тогда космогонических представлений, согласно которым Земля рассматривалась как частичка раскаленной солнечной материи, отделившаяся от нашего главного светила. Постепенно остывая, эта капля расплава покрывалась твердой корой, сложенной первозданными горными породами — магматическими. Затем первичная кора (протокора) вступала во взаимодействие с внешними оболочками Земли — гидросферой и атмосферой. Первозданные породы разрушались механически и разлагались химически. Продукты разрушения переносились водой и ветром и в конечном итоге осаждались на твердой поверхности Земли, формируя покрывающий кору чехол. Осадочные горные породы чехла вторичны по отношению к породам протокоры. Спустя какое-то время после своего формирования, отдельные сегменты осадочного чехла могли в результате тектонических подвижек перемещаться на более глубокие уровни, в область господства повышенных температур и давлений. Приспосабливаясь к новым термодинамическим условиям, вещество осадочного чехла (а отчасти и протокоры) подвергалось существенному преобразованию — метаморфизму, который проявлялся в смене минерального состава и перекристаллизации. Осадочные и магматические породы преобразовывались в породы метаморфические. При дальнейшем нагревании последние могли в конце концов подвергаться частичному или

* Многим памятно, в какое волнение пришло все научное сообщество, когда в океанских пучинах возле гидротермальных плюмов были обнаружены погонофоры — животные нового типа! Об этом неоднократно писала в 60-х годах и «Природа».

полному плавлению, давая начало вторичным магмам.

Разделение магматических пород на таксоны более низкого ранга (классы) основывается уже не на генетическом, а на фациальном принципе, т.е. определяется условиями, в которых исходный расплав (магма) преобразуется в твердую горную породу. При излиянии на земную поверхность в процессе извержений вулканов расплав несколько меняет свои свойства и называется уже не магмой, а лавой. В таком случае продукты его отвердевания составят класс вулканических горных пород. Магма также остывает и полностью раскристаллизовывается на более или менее значительных глубинах в толще земной коры, образуя plutonic горные породы. Наконец, она может застывать и на малых глубинах, не изливаясь, однако, на земную поверхность. Горные породы, сформированные в таких условиях, относят к классу гипабиссальных. Последние обладают чертами, свойственными отчасти plutonic, отчасти вулканическим горным породам. Таксоны более низкого ранга (группы, ряды, семейства) выделяются по химическому составу горных пород. Таксоны низшего ранга (виды) выделяются главным образом на основе особенностей минерального состава и вариаций структуры.

Такая система достаточно проста и вполне логична. Однако в ней есть некое допущение, которое никогда явно не формулировалось, поскольку считалось очевидным, а именно — представление о жидком состоянии вещества всех магматических горных пород в момент его внедрения в толщу земной коры или излияния на поверхность.

Разумеется, все plutonic породы, порожденные магмой, внедрившейся (интродуцированной)

шей) в трещины и иные пустоты внутри литосферы, будут (по определению) породами интрузивными. Но вот обратное утверждение (все интрузивные породы — магматические) будет справедливым лишь в том случае, если единственной формой течения вещества внутри земной коры действительно является только течение жидкости (расплава). Это справедливо и для вулканических образований: горные породы, сформированные в процессе излияния лавы на поверхность Земли, безусловно магматические (поскольку лава — не что иное, как излившаяся магма). Однако раскаленное глубинное вещество могло поступать на поверхность не только в виде жидкого расплава или лавы!

Пирокластические потоки

Геология XVIII—XIX вв. даже не обсуждала возможности иных форм течения горячего силикатного вещества Земли, просто не допускала их. Однако XX в. показал, что это не так, продемонстрировав геологам и петрографам множество наглядных примеров проявления иных видов течения, по некоторым параметрам даже более эффективных, чем привычное течение жидкости. Отправной точкой послужило катастрофическое извержение 8 мая 1902 г. вулкана Мон-Пеле на о.Мартиника в Карибском море, в результате которого в считанные минуты был уничтожен г.Сен-Пьер и погибли практически все 30 тыс. его жителей. Город накрыло стремительно двигавшееся раскаленное облако, столь горячее, что от соприкосновения с ним воспламенялись даже палубы судов, находившихся на рейде. Стеклообразные предметы,



Лагерь геологов на Малой Лемве, в районе развития explosивных флюидизатов на Приполярном Урале.

попавшие в полосу движения облака, оказались полурасплавленными. Судя по всему, температура «адской смеси» была в пределах 750—1000°C. По свидетельствам очевидцев, наблюдавших извержение с кораблей, из жерла вулкана вырвалось насыщенное вулканическим пеплом газовое облако, устремившееся с катастрофической скоростью вниз по склону горы, используя по пути понижения рельефа — ущелья, долины рек, ложбины, овраги и промоины.

Ровно через два месяца (9 июля 1902 г.) направленные в этот регион английские вулканологи Т.Андерсон и Дж.Флетт увидели, как в результате очередного взрыва в стенке кратера вулкана Мон-Пеле через ущелье вырвалась на поверхность и устремилась вниз по речной долине раскаленная докрасна масса с волнистой клубившейся поверхностью, напоминая по характеру движения снежную лавину. Андерсон и Флетт записали в дневнике: «Не могло быть сомнений, что извержение, свидетелями которого мы оказались, точно повторяло недавнее извержение, погубившее город Сен-Пьер. <...> Масса раскаленного лавового вещества переливается через край кратера и в виде лавины раскаленного докрасна пепла устремляется по склону, сопровождаемая ураганным ветром, который валит все на своем пути. Эта лавина — смесь пепла и газа, которая во многом ведет себя подобно жидкости*. Следует особо подчеркнуть последние слова в их описании. По всей видимости, это первое в геологии свидетельство иного (не жидкостного, а лишь подобного жидкостному) течения вулканического материала.

Изучая образованные лавиной молодые горные породы, Андерсон и Флетт реконструировали ход процесса формирования газово-пепловой смеси [4]. По их мнению, такая смесь не обязательно порождалась взрывным дроблением остывавшей лавы (как считали раньше все петрографы), объясняя образование вулканического пепла). Как только насыщенная растворенными газами магма, поднимаясь по вулканическому каналу, достигала зоны пониженного давления (приблизившегося к атмосферному), газы высвобождались из магмы и вспенивали ее — так вспенивается шампанское, когда его наливают из бутылки в открытый бокал. Адиабатический характер расширения газовых пузырьков приводил к резкому охлаждению расплава. В результате пена «остекловывалась». Но под воздействием продолжавших стремительно расширяться газов слагавшие пену пузырьки лопались. Те, что успели отвердеть, растрескивались, не успевшие — разбрызгивались. Обломки стенок пузырьков и брызги расплава смешивались с горячим газом, в результате пузырячатая пена превращалась в конце концов в «палящую тучу» — скопление частиц, в основном твер-

дых, но отчасти и жидких, взвешенных в стремительно расширявшемся раскаленном газе.

Впоследствии раскаленные газово-пепловые лавины многократно наблюдались при вулканических извержениях. Более 500 раз за какие-то 20 лет! Скорость их перемещения была ураганной: более 100 км/ч, зачастую превышая 150 км/ч, что свидетельствует об исключительной мобильности подобных взвесей. Наблюдения показывали, что они способны стремительно изливаться из кратера, заполняя (как типичная жидкость) любые понижения рельефа и образуя пирокластические потоки, а при отсутствии уклона формируя своего рода «озера».

Тем не менее геологов по-прежнему приводили в недоумение весьма распространенные вулканические горные породы, форма которых свидетельствовала об образовании их в процессе высокоскоростного истечения (излияния), тогда как обломочная структура столь же неопровержимо свидетельствовала, что исходный материал во время излияния потоков преимущественно был твердым. Решение этого противоречия в 20-е годы прошлого столетия предложил К.Феннер, изучавший последствия грандиозного по масштабам извержения в 1912 г. вулкана Катмай на Аляске, где крупная межгорная котловина заполнилась обломочным материалом. Феннер установил, что выполняющая эту депрессию масса состоит преимущественно из мелких (песчаной размерности) осколков вулканического стекла и минералов, сочетающихся с более крупными обломками пемзы и других вулканических пород. Тем не менее этот твердый материал изливался из жерла и стекал вниз по прилегавшей речной долине, перекрывая все неровности рельефа и заполняя все понижения! В конечном счете поток достиг Катмайской котловины и менее чем за 20 ч «затопил» ее, сформировав мощный покров в 11 км³ с почти горизонтальной верхней поверхностью, тогда как нижняя его поверхность полностью повторяла все неровности рельефа, существовавшие на момент затопления [5].

Понять механизм формирования такого странного тела и слагающей его породы Феннеру помогло то, что ему посчастливилось самому увидеть истечение твердогазовых потоков раскаленного песчаного материала из маломощных трещинных каналов (т.е. не что иное, как последние пароксизмы катмайского извержения). Высокая подвижность таких потоков поддерживалась продолжавшейся дегазацией твердых частиц. В результате все обломки были окружены непрерывно расширявшимися оболочками газа, который выделялся из них самих. Дегазация пород и в самом деле продолжалась очень длительное время. Даже через несколько лет после извержения вулкана Катмай наблюдалось истечение газов из сформировавшегося в то время кластического покрова. При этом выделялся весьма значительный объем

* См: Макдональд Г. Вулканы. М., 1975. С.149.

газов — не случайно заполненная вулканическим материалом депрессия получила название «Долина десяти тысяч дымов».

Вскоре после публикации наблюдений Феннера английский геолог П.Маршалл установил структурное сходство материала Катмайского раскаленного песчаного потока и кластических отложений в разрезе Риолитового плато (о.Северный, Новая Зеландия). Он пришел к заключению, что кластиты образовались в результате таких же процессов, как и породы, описанные Феннером на Аляске. Характеризуя механизм соответствующих извержений, Маршалл также использовал термин «отложения раскаленных пепловых (песчаных) потоков», но предложил заменить громоздкое словосочетание новым понятием *игнимбриит*, образованным из латинских слов *ignis* (огонь) и *imbris* (душ), т.е. огненный душ [6].

Предложение Маршалла оказалось весьма своевременным, а судьба термина *игнимбриит* — на редкость удачной: он был практически единодушно принят вулканологами и в кратчайший срок получил всемирное признание. Конечно, этому в немалой степени способствовала и широкая распространенность подобных пород. Сейчас можно утверждать, что на долю игнимбриитов приходится не менее половины объема вулканических пород кислого состава и около 20% объема всех вулканических пород вообще! Таким образом, отложения раскаленных твердогазовых или расплавно-твердогазовых взвесей оказались вполне сопоставимы по распространению в природе с прямыми дериватами природных расплавов — горными породами, образовавшимися при остывании и отвердевании лавы.

Пирокластитовые интрузии

Следующий этап познания роли суспензионных потоков в формировании горных пород открывают работы Р.Фармина о галечных (валунных) дайках штата Юта [7]. Подобные образования впервые увидел в 1904 г. М.Кэмпбелл в Аризоне, затем их находили в других штатах США — Орегоне, Айдахо, Юте. Обнаружили их и в России. О валунных дайках Карелии писала в свое время «Природа» [8]. Такие дайки образованы хорошо окатанными обломками горных пород (валунной и галечной размерности), которые погружены в плотный мелкозернистый цемент. Этот материал, слагающий валунные дайки, очень похож на конгломерат — осадочную горную породу, представляющую собой цементированные отложения морских или речных валунно-галечных пляжей. Поэтому первое, что напрашивалось для объяснения происхождения таких даек, — их формирование в результате заполнения открытых трещин в береговых скалах валунами и галькой, забрасываемыми волнами или течением. Последующая же

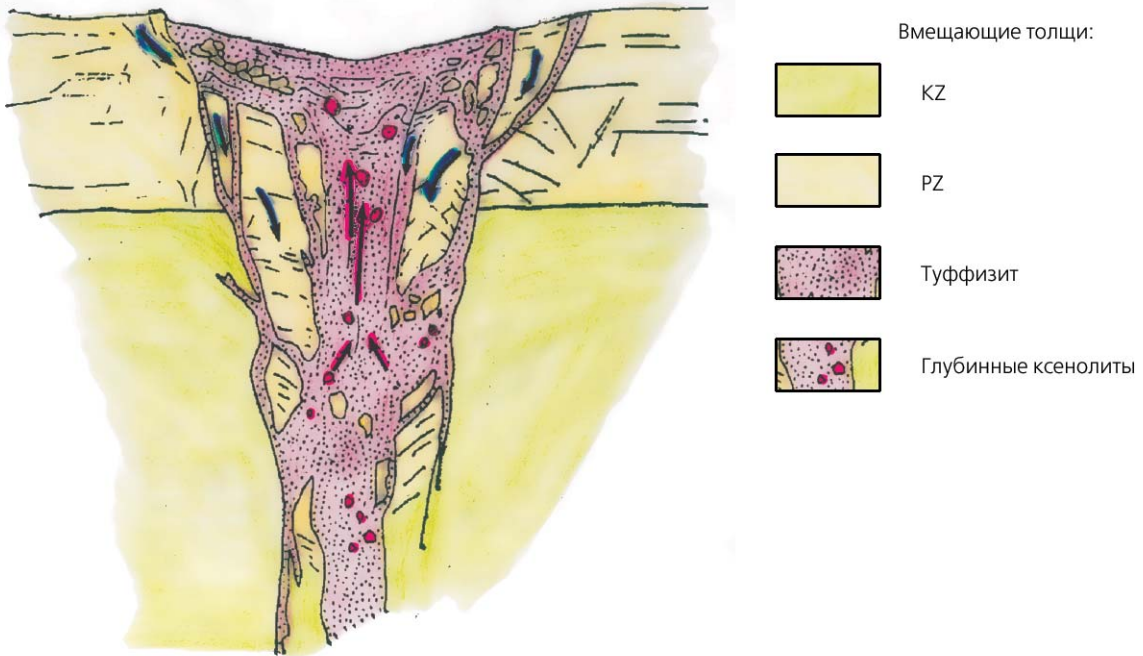
цементация превращала трещинные галечники в конгломераты.

Однако Фармин установил, что цемент значительной части изученных им валунов имеет не осадочную, а магматическую природу. В большинстве случаев он представлен игнимбриитами либо продуктами их гидротермально-метасоматической переработки. Фармин пришел к заключению, что валунные дайки штата Юта образовались в результате консолидации таких же раскаленных расплавно-твердогазовых или твердогазовых взвесей, какие порождают игнимбрииты. Только в случае валунных даек взвеси не вырываются наружу и не изливаются на поверхность в форме «раскаленных лавин», как при образовании игнимбриитов, а остывают и отвердевают в пределах литосферы, формируя в ней типичные интрузивные (внедренные) тела. Обломки, полагал Фармин, отторгались внедрившейся массой от стенок трещин и округлялись (окатывались, как сказал бы любой геолог-осадочник) в процессе переноса — как за счет механического истирания, так и в результате корродирующего воздействия перегретых газов.

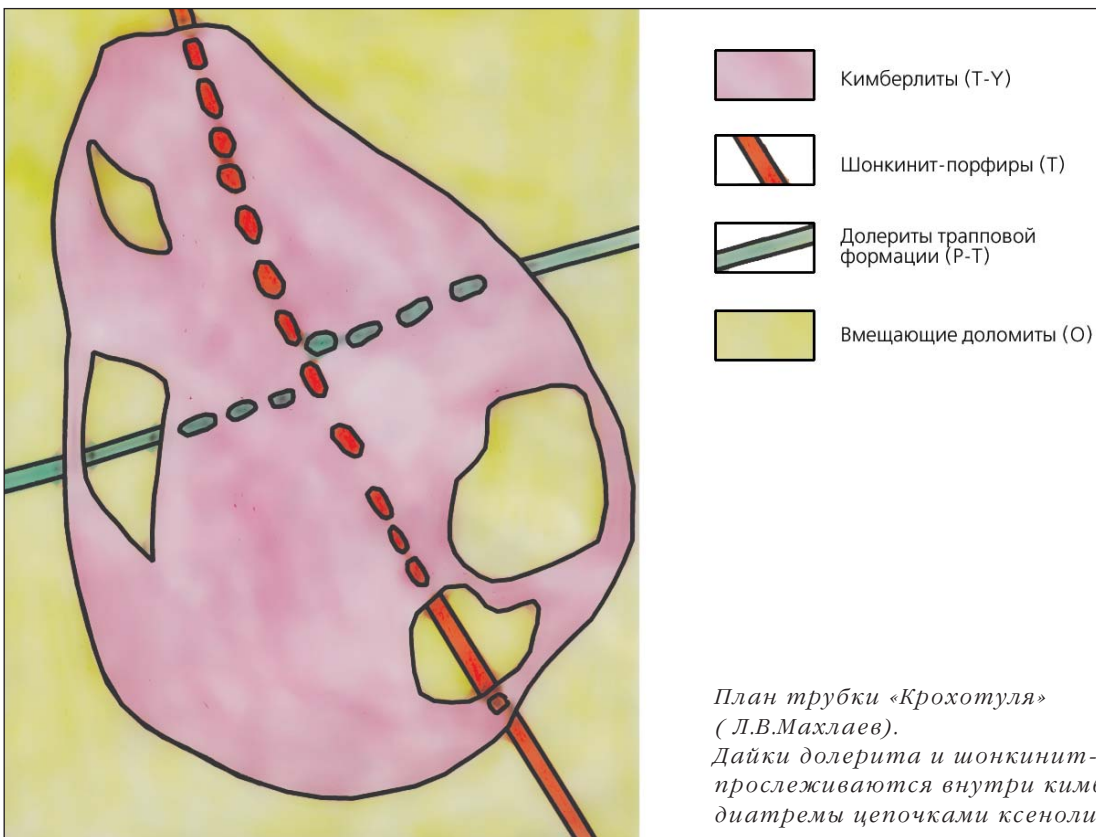
Через несколько лет аналогичный механизм «суспензионного внедрения» был предложен знаменитым немецким геологом Г.Клоосом [9] для объяснения формирования вулканических диатрем в Швабии (юго-западная часть Германии). Диатремами называют вертикальные трубообразные тела, выполненные обломочным материалом, имеющим, как правило, глубинное (и к тому же взрывное) происхождение. Первоначально диатремы рассматривались как своего рода одноразовые вулканы — порождения мощных эндогенных взрывов. Не случайно их называли трубками взрыва. Нередко их так называют и сейчас.

Предполагалось, что при подъеме газонасыщенных магм до уровня, где внешнее давление оказывается слишком низким, начинается выделение растворенных в магме газов, которое идет столь быстро, что принимает характер взрыва. В таких условиях дробятся ранее затвердевшие порции магмы, стенки подводного канала, и все обломки (от крупных до мельчайших), а также брызги еще не застывшей лавы выбрасываются взрывом. Затем материал падает обратно в жерло и закупоривает его. Объяснение, надо заметить, весьма спорное: вероятность того, что продукты взрыва упадут обратно, не более реальна, чем возвращение дроби после выстрела вверх в ствол ружья.

Клоос отметил и ряд других несуразностей взрывной модели. Например, оказалось, что ориентировка слоев в крупных обломках, отторженных от стенок диатрем (в так называемых «плавающих рифах»), почти не отличается от ориентировки слоев во вмещающих породах, хотя это совершенно невозможно при открытом взрыве с выбросом материала из жерла. Порой в пределах диатрем цепочками почти не смещенных обломков (ксенолитов) трассируются прорванные дайки и жилы



Генерализованный разрез туффизитовой диатремы (Г.Клоос).
 Крупные ксенолиты вмещающих пород (плавающие рифы) погружаются в туффизитовую массу без существенного нарушения своей пространственной ориентировки. Направление их смещения показано синими стрелками. Красными стрелками — направление течения (интрузии) туффизитового материала и перемещения глубинных ксенолитов [10].



План трубки «Крохотуля»
 (Л.В.Махлаев).
 Дайки долерита и шонкинит-порфира прослеживаются внутри кимберлитовой диатремы цепочками ксенолитов.

более древних магматических пород. Такие соотношения пород одному из нас довелось наблюдать в кимберлитовой трубке Крохотуля на севере Красноярского края. Безусловно, выброшенные взрывом обломки никак не могли вернуться на то самое место, которое дайка занимала до взрыва.

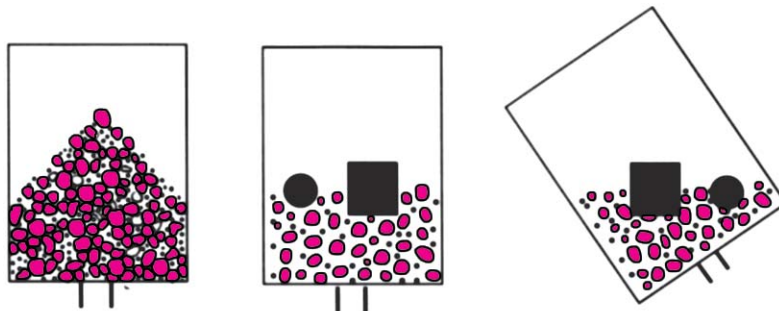
В конечном счете Клоос пришел к выводу, что швабские диатремы, подобно валунным дайкам Юты, сформировались в результате внедрения газовой-пеплового суспензионного потока. Взрывы могли иметь место, и возможно действительно происходили, в корневых частях диатрем при декомпрессии газонасыщенной магмы. Адиабатическое расширение отделявшейся газовой фазы приводило к охлаждению и отверждению вспенивавшейся магмы с формированием классического пеплового материала — скорлупок отвердевшей стекловатой пены. Газово-пепловый поток, поднимаясь вверх, увлекал за собой небольшие обломки вмещающих пород и стенок залегающей ниже взрывной камеры. Отторгнутые же от стенок проводящего канала крупные обломки (плавающие рифы) проседали под своим весом и медленно двигались навстречу суспензионному потоку, опускаясь порой на десятки и сотни метров ниже своего первичного залегания, не изменяя существенно свою пространственную ориентировку. Клоос также отметил исключительно высокую текучесть и проницаемость суспензионных потоков, определявшуюся тем, что главный мобильный компонент этой системы — газ, практически не имеющий вязкости. Проникающая способность такой смеси обусловлена высоким внутренним давлением газа и естественным для него стремлением заполнить максимально возможный объем. Поэтому твердогазовая взвесь проникает в тончайшие трещины, расширяет их, расклинивает.

Наконец, было сделано еще одно важное наблюдение. Оказалось, что кластический материал в диатремах не всегда магматический и уж во всяком случае — не весь. Часть отторгающихся от стенок обломков чужда исходной магме. Некоторые диатремы вообще сложены преимущественно материалом, отторгнутым от стенок, — например, трубки в Шотландии, изобилующие щебнем и галькой кремнистых сланцев и кварцитов [10]. Клоос предложил называть интрузивные обломочные породы, выполняющие диатремы и дайки, туффизитами, независимо от природы слагающего их материала — будь то магматический вулканический пепел или обломки вмещающих осадочных пород. Такое название, с одной стороны, отображает структурное сходство подобных пород с классическими вулканическими туфами, а с другой — подчеркивает их совершенно иной способ образования. Они не туфы, а нечто «туфоподобное», но в отличие от истинных туфов — интрузивное.

Термину *туффизит* повезло меньше, чем термину *игнимбрит*. Хотя он и вошел в специальные словари и справочники, не упоминается в подавляющем большинстве учебников и не фигурирует в учебных программах. Он не входит в стандартный набор понятий молодых геологов и, как следствие, не используется в повседневной практике и научных публикациях.

Псевдооживление как геологический процесс

В середине XX в. вышла в свет проблемная статья блестящего петролога — профессора Эдинбургского университета Дорис Рейнольдс [11]. Она обратила внимание геологов на то, что в производственной технологии широко применяются процес-



Флюидизация песчаной смеси в стакане. До подачи сжатого воздуха насыпанный на дно песок образует конус с крутизной склона, определяемой естественным откосом (около 40°) сыпучих тел (слева). При подаче сжатого воздуха через отверстие в дне стакана частички песка раздвигаются и задерживаются в воздушной струе. Поверхность песка становится горизонтальной. Брошенные сверху предметы погружаются в песчано-воздушную взвесь, частично возвышаясь над ней, т.е. плавают как в жидкости, в соответствии с законом Архимеда (в центре). Эти свойства сохраняются и при наклоне стакана (справа). Поверхность песчано-газовой взвеси остается горизонтальной.

сы смешения диспергированного твердого материала со сжатым газом посредством «продувки». Сжатый газ проникает в тончайшие промежутки между твердыми частичками, которые раздвигаются и зависают в газовой струе. Система в целом переходит в состояние аэрозоля, приобретая высокую текучесть: ее подвижность определяется подвижностью газовой фазы. Вязкость смеси твердого порошка и газа так невелика, что ею можно пренебречь.

Проникающая способность подобной смеси во многом определяется соотношением диаметра твердых частиц и ширины трещин: взвесь пылеватых частиц в газе будет беспрепятственно закачиваться в волосные трещины, взвесь частиц песчаной размерности — в трещины миллиметровой толщины. При этом избыточное давление газа будет способствовать расклиниванию трещин, открывая доступ в них все более и более крупным частицам. Высокая подвижность твердогазовых взвесей позволяет перегонять огромные объемы твердого материала по системам трубопроводов столь же эффективно, как жидкости и газы. Так перекачивают муку, зерно, крупы, подсолнечное семя, цемент, угольную крошку (штыб) и др.

Кроме того, перемешивание разнородного тонкодисперсного материала в газовой струе (особенно в сочетании с нагревом) весьма способствует протеканию химических реакций. Это составляет второе направление технологического использования эффекта продувания порошковых материалов сжатым газом. В нашей литературе соответствующие процессы называют псевдоожигением, или реакциями в кипящем слое, поскольку многочисленные пузыри, образующиеся при выделении газов из такой взвеси, придают ее поверхности сходство с поверхностью кипящей жидкости. При этом подчеркивается, что возникает двухфазная, но псевдогомогенная система (твердые частицы—газ), напоминающая кипящую жидкость. В английской и французской технической литературе псевдоожигение называют просто ожигением — флюидизацией, что для англичанина, впрочем, буквально означает перевод вещества в текучее состояние.

Поведение флюидизированной системы во всех отношениях подобно поведению жидкости — оно подчиняется законам гидростатики и гидродинамики. Поверхность такой смеси в открытом сосуде субгоризонтальна, а предметы с меньшей относительной плотностью плавают в ней в соответствии с законом Архимеда. Плотность и вязкость псевдоожигенных флюидизатных систем возрастает с увеличением плотности твердых частиц и их размера. При значительных вариациях последнего общая плотность псевдожидкой взвеси определяется преимущественно частицами меньшего размера. Добавка даже весьма малого количества тонкодисперсного материала в систему, сложенную крупными частицами, резко увеличивает общую текучесть смеси.

Хотя термин *флюидизация* технологи используют только по отношению к твердогазовым взвесям, нет видимых ограничений в применении его к взвесям твердых частиц в потоке жидкости, имеющей меньшую плотность, чем средняя плотность твердого материала. Для геолога важно, что при переносе твердых частиц в жидкости всегда происходит разделение их по размеру и плотности, тогда как твердогазовый перенос не сопровождается видимой дифференциацией. Причина скорее всего в том, что различие в плотности твердого материала и жидкости невелико, а различие в плотности между твердым веществом и газом огромно.

Взвеси вязкой жидкости в газе динамически и статически подобны твердогазовым флюидизированным смесям. Наглядная модель подобной системы — струя из пульверизатора или аэрозольного баллончика. Сжатый фреон, углекислота, воздух увлекают, к примеру, нитролак или иную жидкость, разбивают ее своими турбулентными завихрениями на мельчайшие брызги и формируют поток капель, взвешенных в струе расширяющегося газа.

Нельзя не отметить, что при чтении зарубежных публикаций, посвященных проблемам флюидизации, приходится преодолевать немалые лингвистические трудности. Начнем с того, что в русских специальных справочных изданиях (Большая и Малая советские энциклопедии, Энциклопедический словарь, Петрографический словарь) и учебниках вообще нет слова *флюидизация*. Зато там фигурирует термин *флюид* — жидкие или газообразные легкоподвижные компоненты магмы или циркулирующие в земных глубинах насыщенные газами растворы, — который к рассматриваемой нами флюидизации прямого отношения не имеет. В английских же специальных словарях нет термина *fluid*, но зато есть термин *fluidization* — смешение газа и твердого рыхлого материала, в результате которого смесь течет, как жидкость. В такой трактовке это понятие точно соответствует русскому техническому термину *псевдоожигение*, но не имеет прямого отношения к нашему петрологическому термину *флюид*. В то же время слово *fluid* широко используется в обыденном (не научном) английском языке, в котором оно означает понятие *жидкость*, но чаще выступает в качестве прилагательного жидкий.

Но вернемся к Рейнольдс. Заслуга ее в том, что она первой приложила хорошо изученный технологический процесс псевдоожигения (флюидизации) к расшифровке рассмотренных нами выше специфических проявлений вулканической деятельности — формированию раскаленных пепловых лавин, образованию игнибритов и таких гипабиссальных интрузивов, как валунные и туффзитовые дайки и диатремы. Можно лишь сожалеть, что ее статья не привлекла в свое время должного внимания наших геологов, и многим последующим исследователям пришлось изобретать велосипед заново.

Современное состояние изученности флюидизатов

Как бы там ни было, но в 50—70-е годы XX в. интерес к изучению природных флюидизатных систем пришел и в нашу страну. Известный геолог П.Е.Офман четко обосновал флюидизатный (по сути) механизм внедрения базитовых («кривляки-товых») даек и диатрем в трапповой формации Сибири [12]. П.П.Смолин предложил подобный механизм формирования для интрузивных пирокластитов Алдана, ассоциирующихся с гипабиссальными субщелочными средними породами [13].

Флюидизатные образования обнаружены в магматических комплексах, сформированных на всем протяжении геологической истории — от раннего докембрия до наших дней. Оказалось, что это отнюдь не экзотика, а широко распространенные горные породы. Они описаны во многих регионах бывшего СССР — в Карелии, на Алтае, в Красноярском крае и Туве, на Южном Урале, Камчатке, Украине, в Казахстане, Киргизии. Известны они и на Северном Урале, где игнимбриты впервые отмечались петрографом Б.А.Голдиным вблизи Лемвинского гранитного массива. В последние годы в этом же районе И.И.Голубевой обнаружены многочисленные проявления интрузивных игнимбритов [14]. Она описала там разнообразные интрузии туффизитов, валунные дайки и диатремы с туффизитовым и игнимбритовым цементом [15].

Сейчас можно считать твердо установленным, что флюидизаты порождаются магмами разного состава — от ультракислых (аляскитовых) до щелочно-ультраосновных (кимберлитовых, лампроитовых) и несиликатных (карбонатитовых, апатитолитовых). Обязательное условие для их образования — высокое содержание в исходных расплавах летучих компонентов, обеспечивающих интенсивное и достаточно продолжительное выделение газов при декомпрессии магмы.

Как и в промышленных установках, режим «газовой продувки» в природных флюидизатных системах способствует эффективному перемешиванию твердого материала, а также облегчает взаимодействие с горячим газом и продуктами его конденсации, помогая тем самым развитию разнообразных химических реакций. Не случайно природные флюидизаты очень часто сопряжены с теми или иными полезными ископаемыми, становятся вместилищами для них или даже сами оказываются рудами.

На тесную связь оруденения с такого рода образованиями обратили внимание еще первые исследователи валунно-галечных даек Северной Америки, среди которых были всемирно известные специалисты В.Линдгрэн и Т.Ловеринг. В изучении рудоносности флюидизатно-эксплозивных пород нашей страны много сделано крупными знатоками рудных месторождений

Сибири и Дальнего Востока — П.Ф.Иванкиным, В.С.Кузбным, Г.И.Туговиком. В качестве материала, цементирующего брекчии в дайках и диатремах, были описаны минералы меди, цинка, олова, молибдена, вольфрама, радиоактивных, редких и благородных металлов. Хорошо известны Ангаро-Илимские железорудные диатремы, на базе которых сформирован один из крупнейших горнопромышленных комплексов Сибири. И все же наибольшее внимание природные флюидизатные образования привлекают в связи с месторождениями алмазов. До недавнего времени единственным коренным источником алмазов были кимберлитовые трубки. Но ведь это не что иное, как типичные диатремы, описанные Клоосом в Швабии. Выполнены они характерными брекчиями и туффизитами, но не андезитобазальтовыми, как швабские, а ультраосновными — кимберлитовыми. Сейчас «кимберлитовая монополия» окончилась: в Австралии алмазы найдены в трубках иного состава — лампроитовых. Однако принципиального отличия здесь нет, поскольку и в этом случае они находятся в диатремах, выполненных туффизитами и туффизитовыми брекчиями ультращелочных гипербазитов, только не кимберлитов, а лампроитов.

Наконец, нельзя не остановиться на крупной геологической сенсации последних лет. Давно известные на севере Пермской обл. россыпные Вишерские месторождения ювелирных алмазов были геологической загадкой в течение почти двух столетий — никто не мог указать для них коренные источники. Алмазы в россыпях были (и добывались!), а откуда они взялись, оставалось непонятным. И лишь недавно трудами уральских и петербургских геологов (и прежде всего А.Я. и Т.М.Рыбальченко из Перми), кажется, был открыт коренной источник вишерских алмазов. Ими оказались весьма невзрачные горные породы, которые никто и никогда не считал магматическими! Исследователи утверждают, что это — туффизиты [16]. Впрочем, другие геологи с этим яростно спорят и весьма обидно для своих оппонентов обзывают описанные образования «туфтизитами» (!).

Флюидизаты — новый класс горных пород?

Широкое развитие флюидизатов, их специфический облик, своеобразный механизм формирования и (далеко не в последнюю очередь) практическая значимость привлекают к ним все возрастающее внимание исследователей. Однако их изучение должно стать более всесторонним и полным. Необходимо, чтобы порождения флюидизированных магматических систем нашли, наконец, достойное место в справочниках и учебниках, чтобы они получили, так сказать, гражданство.

И начинать нужно с определения их места в общей схеме классификации горных пород.

Конечно, это не вид, не семейство и даже не группа, поскольку, как уже сказано, флюидизаты могут быть вулканическими, а могут быть и гипабиссальными. Следовательно, по таксономическому рангу они стоят выше, чем класс. В то же время флюидизаты нельзя назвать и магматическими породами в узком смысле этого слова, так как они порождены не изливанием или внедрением расплава как такового. Повторим еще раз: перенос вещества происходил не в форме жидкости, а в форме суспензии, в которой может существовать расплавная фаза, но может и полностью отсутствовать. Однако в широком смысле это все же породы магматические, поскольку они формируются на определенной стадии эволюции магматических систем.

Таким образом, флюидизаты стоят над классом, но входят как составная часть в категорию тип. Поэтому мы полагаем, что их следует рассматривать как особый подтип магматических горных пород. Второй подтип должны составлять породы собственно магматические, или магматиты [17].

Магматические горные породы $\begin{cases} \nearrow & \text{флюидизаты} \\ \searrow & \text{магматиты} \end{cases}$

В подтипе магматитов выделяются традиционные классы: вулканический, плутонический

и гипабиссальный, а в подтипе флюидизатов — только вулканический и гипабиссальный. Плутонического класса здесь быть не должно, поскольку высокое давление на глубине препятствует выделению из магмы растворенных в ней летучих компонентов и обособлению их в самостоятельную фазу.

В заключение отметим, что классификационная ситуация осложняется еще одним весьма существенным обстоятельством. Строго говоря, к псевдооживленным (флюидизированным) геологическим системам следует относить не только магматические образования. В псевдооживленное состояние кластический материал может переходить и под воздействием газов иного происхождения (например, природных углеводородов), а также при заполнении рыхлых толщ водой или какой-либо другой жидкостью (нефтью), особенно если последняя находится в условиях аномально высокого давления. Такие явления хорошо известны газовикам и нефтяникам. Они порождают, в частности, нефтегрязевой вулканизм, продукты которого резко отличны от описанных нами выше. Флюидизаты — это и хорошо известные в гидрогеологии и инженерной геологии пльвуны. Однако экзогенные флюидизаты должны составлять особую категорию геологических объектов, и их не следует рассматривать вместе с флюидизатами магматическими. ■

Литература

1. Казак А.П., Якобсон К.Э. // Регион. геология и металлогения. 1997. №6. С. 168—169.
2. Голубева И.И. Флюидизаты как особый класс магматических образований // Новые идеи в науках о Земле. М., 1997. С.100.
3. Петрографический кодекс: магматические и метаморфические образования. СПб., 1995.
4. Anderson T., Flett J.S. // Roy. Soc. London Phil. Trans. Ser.A. 1903. V.200. P.353—355.
5. Fenner C.N. // Journ. of Geol. 1929. V.28. P.569—606.
6. Marshall P. // Roy. Soc. New Zeland Trans. 1935. V.64. P.323—366.
7. Farmin R. // Econ. Geol. 1934. V.XXIX. №4. P.356—370.
8. Булах А.Г. Валунные дайки Турьего мыса — загадочные породы южного побережья Кольского полуострова // Природа. 1960. №4. С.100—102.
9. Cloos H. // Geologische Rundschau. 1941. V.32. H.708—800.
10. Pitcher W.S., Read H.H. // Geol. Mag. 1952. V.89. P.328—336.
11. Reynolds D.L. // Am. Journ. of Sc. 1954. V.252. №10. P.577—614.
12. Офман П.Е. Тектоника и вулканические трубки центральной части Сибирской платформы // Тектоника СССР. Т.IV. М., 1959. С.5—344.
13. Смолин П.П. // Жизнь Земли. М., 1970. №6. С.49—65.
14. Голубева И.И. Интрузивные игнимбриты на Полярном Урале // Петрология и минералогия севера Урала и Тимана. Сыктывкар, 1997. С.11—18.
15. Голубева И.И., Махлаев Л.В. Интрузивные пирокластиты севера Урала. Сыктывкар, 1994.
16. Рыбальченко А.Я., Колобянин В.Я., Лукьянова Л.И. и др. // ДАН. 1997. Т.353. №1. С.90—93.
17. Голубева И.И., Махлаев Л.В. Магматогенные флюидизаты и их положение в систематике горных пород: новый класс или новый тип? // Петрография на рубеже XXI в.: итоги и перспективы (Тр. Второго Всерос. петрограф. совещания). Т.1. Сыктывкар, 2000. С.54—56.

Эволюция ледового щита Антарктиды

(178-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)

И.А.Басов,

доктор геолого-минералогических наук

*Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН
Москва*

Несмотря на длительную историю изучения Антарктиды в наземных экспедициях, на стационарных станциях континента, а также в рейсах научно-исследовательских океанографических и буровых судов «Гломар Челленджер» и «ДЖОИДЕС Резолюшн», эволюция мощного ледового щита остается почти неизвестной. Вместе с тем очевидно, что его формирование и вариации объема льда оказывали решающее влияние на климат планеты на протяжении всей кайнозойской истории ее развития.

О колебаниях роста антарктического ледового покрова обычно судят по изменениям изотопного состава кислорода в раковинах бентосных фораминифер (микроскопических простейших организмов, живущих на дне), а также колебаниям уровня океана, реконструируемого по строению разрезов и составу осадков низкоширотных подводных окраин континентов. Однако эта реконструкция осложняется тем, что растворение карбонатных раковин на дне искажает первоначальное соотношение в них тяжелых и легких изотопов кислорода и таким образом приводит к неоднозначным интерпретациям полученных результатов.

Что касается колебаний уровня океана, вопрос о природе которых нередко остается открытым, их время и масштабы также не всегда могут быть надежно оценены.

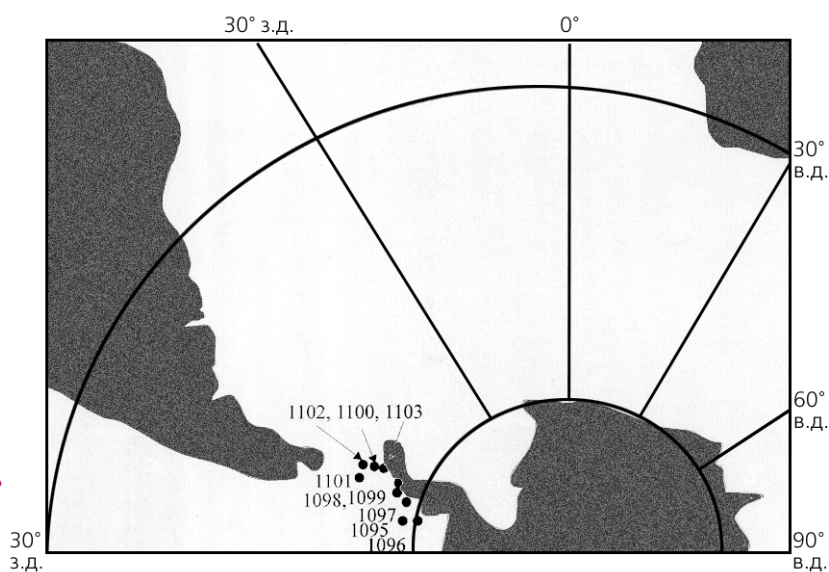
С целью изучения кайнозойской эволюции ледового щита Антарктиды в рамках Программы океанского бурения было запланировано несколько экспедиций «ДЖОИДЕС Резолюшн» в различных приантарктических районах. Рейс 178-й был вторым из этой серии [1] и проводился в пределах тихоокеанской окраины Антарктического п-ова. Научными руководителями были П.Баркер из Британской антарктической службы и А.Камерленги из Экспериментальной геофизической обсерватории (Италия), программу представлял Г.Эктон [2].

Чтобы детально восстановить историю континентального оледенения в пределах Антарктического п-ова за последние 10 млн лет и сравнить вариации темпов роста ледового щита с гляциоэвстатическими колебаниями уровня моря в низкоширотных областях, в рейсе предстояло получить непрерывные разрезы верхнекайнозойских осадков.

Было пробурено 23 скважины в девяти точках (1095—1103), расположенных вдоль профиля, проходящего через

шельф и континентальный склон в интервале глубин от 430.5 до 3841.6 м. Разные условия осадконакопления позволили получить керны, в которых «записаны» различные аспекты формирования ледникового покрова в пределах полуострова и его влияния на седиментологические, гидрологические и биологические процессы в прилегающей части Тихого океана.

Наиболее глубоководные скважины (1095, 1096, 1101), пройденные в пределах вытянутых поперек материкового склона осадочных тел (дрифтов), вскрыли разрез осадков общей мощностью 607.7 м, охватывающих по возрасту интервал от позднего миоцена до голоцена. Нижняя часть разреза представлена турбидитами с редкими позднемiocеновыми диатомеями. Средняя (верхний миоцен—плиоцен) — горизонтами осадков, интенсивно переработанных роющими организмами с повышенным содержанием материала ледового разноса, которые переслаиваются с пачками турбидитов. Циклическое строение этой части разреза проявляется как в составе осадков, так и в различных их физических характеристиках (цвете, магнитной восприимчивости, пористости, составе глинистых минералов и др.) и интерпрети-



Положение скважин (кружки), пробуренных в 178-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн» по Программе океанского бурения.

руется участниками рейса как отражение крупных ледниковых циклов. Судя по результатам предварительного анализа, цикличность в осадконакоплении в данном районе совпадает с частотой изменений орбитальных характеристик Земли (циклы Миланковича). Это позволяет провести сравнение с климатическими колебаниями в низких широтах и таким образом точнее датировать ледниковую историю Антарктиды. Верхняя часть разреза (плейстоцен—голоцен) состоит из отчетливого циклического переслаивания терригенных и терригенно-биоогенных илов, сформировавшихся в результате чередования ледниковых и межледниковых усло-

вий. В осадках содержатся четвертичные диатомеи, радиолярии, планктонные и бентосные фораминиферы.

Остальные скважины пробурены в пределах шельфа. Из-за тяжелых условий бурения (айсбергов, сильного волнения и грубообломочного состава отложений) большинство скважин характеризовалось ограниченным проникновением в осадки и незначительным выходом керна. Лишь одна из них (1097) на краю палеошельфа (глубина 551.7 м) вскрыла относительно полный слой плиоцен-четвертичных осадков общей мощностью 436.6 м. В отличие от глубоководного разреза они здесь представлены глав-

ным образом плохо сортированными, часто грубообломочными разностями, которые свидетельствуют о значительно большем и практически непрерывном влиянии континентального оледенения на процессы осадконакопления на протяжении всего плиоцен-четвертичного времени. Две скважины (1098, 1099) были заложены в небольших впадинах с глубинами более 1 км, расположенных в пределах внутреннего шельфа. Эти впадины заполнены голоценовыми осадками, которые накопились после последнего отступления ледника с шельфа. Полученный разрез общей мощностью 108 м сложен преимущественно биоогенными кремнистыми (диатомовыми) илами с различной примесью терригенного материала. Распределение терригенного и биоогенного материалов (в том числе изменения в составе бентосных фораминифер) по разрезу подчинено мелкомасштабной цикличности. После детальной расшифровки этого разреза можно будет сопоставить с данными, полученными для других районов океана и ледовых кернов из Антарктиды.

Таким образом, уже предварительный анализ полученных материалов показывает, что они позволяют проследить историю формирования ледового щита Западной Антарктиды и выявить разномасштабную цикличность в его развитии продолжительностью от нескольких сотен тысяч лет до нескольких сотен. ■

Литература

1. Басов И.А. Роль Южного океана в эволюции климата Земли (177-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн») // Природа. 2001. №8. С.26–27.
2. Barker P.F., Camerlenghi A., Acton G.D. et al. // Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. 1999. V.178.

Гамма-всплеск на краю Вселенной

О.А.Новикова

Москва

К числу бурно развивающихся областей астрофизики относится изучение гамма-всплесков. Впервые эти загадочные события зарегистрировали в конце 60-х годов приборы искусственных спутников Земли серии «Vela», специально запущенных США для контроля за выполнением международного соглашения о прекращении ядерных испытаний в атмосфере и космосе. Вначале короткие и мощные импульсы гамма-излучения были восприняты именно как признаки ядерных взрывов, и о них не сообщалось в прессе. Лишь спустя некоторое время пришла уверенность, что длящиеся от нескольких секунд до нескольких минут гамма-всплески не имеют отношения к советским или китайским ядерным испытаниям, а представляют собой новое астрофизическое явление [1, 2].

Кратковременность и полная непредсказуемость гамма-всплесков, недоступность их наблюдения с поверхности Земли (гамма-излучение не проходит сквозь атмосферу) и ограниченные возможности первых космических гамма-телескопов крайне затрудняли исследование. Чтобы сделать первые шаги к пониманию этого явления, понадобилось 30 лет — огромный срок для современной науки. (Впрочем, столь же непредсказуемое атмосферное явление — шаровая молния — значительно дольше сопротивляется попыткам разгадать ее природу!)

За годы изучения гамма-всплесков предложены десятки гипотез их происхождения [3] — от попадания заряженных косми-

ческих частиц в аппаратуру спутника до падения комет на поверхность близких нейтронных звезд, от сравнительно безобидных звездотрясений до гигантских взрывов в далеких галактиках. Главная трудность в разгадке природы гамма-всплесков — рассчитать расстояние до их источников, зная которое, можно оценить величину выделившейся энергии. Почти все методы определения расстояний в астрономии базируются на изучении оптических спектров. Но оптических объектов, ответственных за гамма-всплески, долго не удавалось обнаружить: пока одни специалисты уточняли по данным нескольких спутников направление прихода гамма-излучения, пока эти данные поступали к астрономам-оптикам, пока появлялась возможность навести на нужную область неба оптический телескоп (для чего, как минимум, нужна ночь, чистое небо и свободный телескоп), от гамма-всплеска и вероятно сопровождающего его оптического свечения не оставалось и следа.

Лишь во второй половине 90-х годов были созданы необходимая космическая аппаратура и наземная патрульная служба, способные за несколько минут определить координаты гамма-всплеска, навести на нужную область неба телескоп и получить оптический спектр источника. С этого момента исследования гамма-всплесков стали быстро продвигаться. Начиная с 1997 г. удалось отождествить около 20 оптических источников, связанных с гамма-всплесками. Оказалось, что они расположены на очень больших, космологических расстояниях. Это означает,

что полная энергия, высвобождаемая за несколько секунд гамма-всплесками, значительно превышает ту, которую Солнце излучит за все время своей эволюции (около 10 млрд лет). Таким образом, гамма-всплески оказались самыми мощными природными явлениями во Вселенной, не считая Большого взрыва.

Сейчас изучением оптических объектов, связанных с гамма-всплесками, занимаются крупнейшие обсерватории мира. Уже получены указания на то, что рождаются гамма-всплески в областях звездообразования далеких галактик, однако природа самих вспышек пока не ясна. Наблюдения с помощью больших телескопов только начинают проливать свет на эту загадку. 31 января 2000 г. сетью международных космических зондов («Конус», «Ulysses», NEAR) был зарегистрирован мощный гамма-всплеск, обозначенный как GRB 000131. По моментам регистрации сигнала каждым из зондов удалось довольно точно определить направление на источник всплеска. Это оказалась сравнительно маленькая область неба (1/4 видимого размера Луны) в южном созвездии Киль. Оперативное ее наблюдение астрономами из Европейской южной обсерватории (Параналь, Чили) выявило тусклый, быстро слабеющий точечный объект, который и был определен как «послесвечение» оптического «остатка» гамма-всплеска [4].

На следующую ночь яркость объекта уменьшилась еще больше и в спектральном диапазоне R снизилась до 24.4 звездной величины, что в 30 млн раз слабее самых тусклых звезд, видимых не-

вооруженным глазом. Дополнительные наблюдения 8 февраля в обсерватории Ла-Силья с помощью 3.5-метрового телескопа показали, что цвет послесвечения очень красный и может быть приписан космологическому красному смещению в спектре быстро удаляющегося источника. Фотометрически красное смещение было оценено в 4.35–4.70.

Для точного измерения красного смещения, а значит, и расстояния на основании закона Хаббла потребовались спектроскопические наблюдения, которые также были проведены 8 февраля. При правильной фотометрической оценке в спектре излучения источника должен наблюдаться завал в красной области спектра, на длинах волн 650–700 нм; он характерен для очень далеких объектов и обусловлен сильным поглощением света в облаках межгалактического водорода, находящихся между источником излучения и Землей. Действительно, завал был обнаружен на длине волны 670 нм. Красное смещение объекта GRB 000131 было определено по линиям в оставшейся части спектра и составило 4.5. Это — гигантское расстояние: распространение света от источника до нас занимает более 90% возраста Вселенной!

Красное смещение $z = 4.5$ делает GRB 000131 самым далеким среди известных гамма-всплесков (предыдущий рекорд, подтвержденный спектроскопически, — $z = 3.42$). Если возраст Вселенной 13 млрд лет, а время распространения света от источника около 12 млрд лет, то вспышка произошла в эпоху формирования нашей Галактики, т.е. за 6 млрд лет до рождения Солнечной системы. Яркость нормаль-



Область неба вокруг объекта GRB 000131.

ESO Press Photo 28a/00 (17 October 2000)

ной галактики, в которой когда-то произошел взрыв объекта, вызвавшего вспышку GRB 000131, должна минимум в 10 тыс. раз уступать яркости кратковременного послесвечения вспышки. Обнаружить такой далекий и тусклый объект астрономы пока не могут. Из наблюдений около 20 оптических послесвечений гамма-всплесков, отождествленных к настоящему моменту, становится ясно, что эти чрезвычайно редкие события как-то связаны со смертью массивных короткоживущих звезд. Но, несмотря на множество накопленных данных, детали механизма, приводящего к столь эффектной взры-

ву, остаются головоломкой для астрофизиков.

Безусловно, гамма-всплески — одно из важнейших открытий в естествознании XX в. Во-первых, это самый мощный природный катаклизм. Во-вторых, это уникальный «щуп» для зондирования очень далеких и древних областей Вселенной, в которые до сих пор не проникал взгляд астрономов. Подробное изучение спектров послесвечения гамма-всплесков поможет определить химический состав вещества в эпоху формирования галактик. Но самое интересное — понять, что же там взрывается с такой невероятной силой. ■

Литература

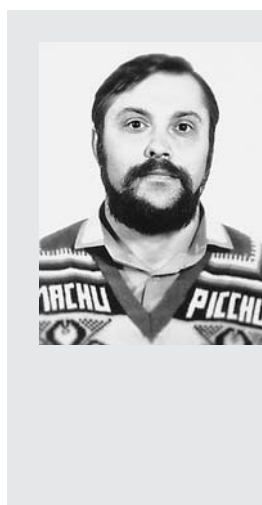
1. Курт В.Г. Космические гамма-всплески — призраки в современной астрофизике // Природа. 1997. №4. С.74–81.
2. Трубников Б.А. Загадка небесных гамма-всплесков близка к разрешению // Природа. 1998. №1. С.11–18.
3. Розенталь И.Л., Трубников Б.А. Обнаружен самый мощный космический гамма-всплеск // Природа. 1998. №11. С.64–67 (речь шла о событии GRB 971214, зарегистрированном 14 декабря 1997 г.).
4. ESO Press Release 20/00. 17 October 2000.

Простейшие — обитатели пограничного слоя

И.В.Довгаль

На любом погруженном в воду объекте, как правило, формируются сообщества прикрепленных одноклеточных организмов, относящихся к царству простейших, или протистов (Protista), — многочисленной, но все еще недостаточно изученной группы беспозвоночных животных. Такие сообщества, обитающие на твердых субстратах в пресных водоемах, называют перифитоном, в морях — биообрастаниями, на поверхности водорослей и высших водных растений — эпифитоном, на водных животных — комменсальными сообществами, или эпибионтами, и т.д. По нашим оценкам, из примерно 100 тыс. известных видов протистов не менее 10% ведут сидячий образ жизни. Прикрепленные формы есть среди различных групп простейших: солнечников, фораминифер, радиолярий, гетеротрофных и автотрофных жгутиконосцев, инфузорий. И это не удивительно, ведь сидячий образ жизни дает организмам определенные преимущества — на обтекаемой водой поверхности они всегда обеспечены пищей.

Несмотря на распространенность, сообщества сидячих простейших до сих пор плохо изучены. Очень трудно выявить, ка-



Игорь Васильевич Довгаль, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела фауны и систематики беспозвоночных животных Института зоологии им. И.И.Шмальгаузена Национальной академии наук Украины. Область научных интересов — изучение некоторых групп инфузорий, ведущих в основном сидячий образ жизни.

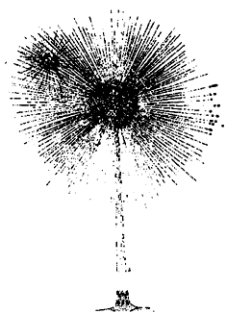
кие именно факторы среды влияют на их развитие в естественных местообитаниях, нелегко воспроизвести условия подобных биотопов и в лаборатории. Поэтому обычно рассматривается весь комплекс воздействующих на сидячих простейших факторов (приливно-отливные и речные течения, конвекционные потоки и т.п.), хотя немало ученых считает, что основное значение среди них имеют гидродинамические нагрузки.

Впервые серьезно этой проблемой занялись британские исследователи — специалист по гидродинамике Н.Р.Сильвестр и протозоолог М.А.Слей [1]. Авторы исходили из того, что при-

крепленные водные организмы размером менее 1 мм находятся в пределах гидродинамического пограничного слоя, т.е. того слоя воды, в котором она затормаживается у обтекаемой ею поверхности. На основании прикрепленного объекта действует напряжение сдвига, сталкивающее его с поверхности субстрата. При этом величина интегральной силы (в отечественной литературе используется другой термин — гидродинамический упор) возрастает с увеличением диаметра объекта и в перпендикулярном направлении от поверхности субстрата, поэтому гидродинамические нагрузки наибольшее значение имеют

© И.В.Довгаль

седиментаторы



радиолярия



фолликулина



хонотрих



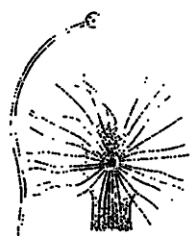
фораминиферы



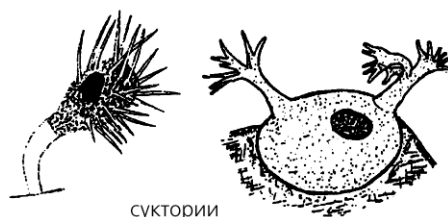
перитрих



ХИЩНИКИ



солнечники



суктории



Представители разных групп простейших, ведущие сидячий образ жизни. Среди них преобладают седиментаторы — организмы, заглатывающие взвешенные пищевые частицы (например, бактерий). Солнечники и суктории — в основном хищники: первые ловят и поедают добычу с помощью псевдоподий (аксоподий), а вторые — с помощью специализированных щупалец.

для стебельчатых форм. Этим в основном ограничивались представления о гидродинамике сидячих простейших.

Несколько лет назад автору этих строк удалось собрать около 30 экземпляров водяных жу-

ков *Hyphidrus ovatus* из разных биотопов. Надкрылья жуков были густо покрыты инфузориями-сукториями *Discophrya lichtensteinii*. Даже визуально было заметно, что размер инфузории зависел от места ее расположе-

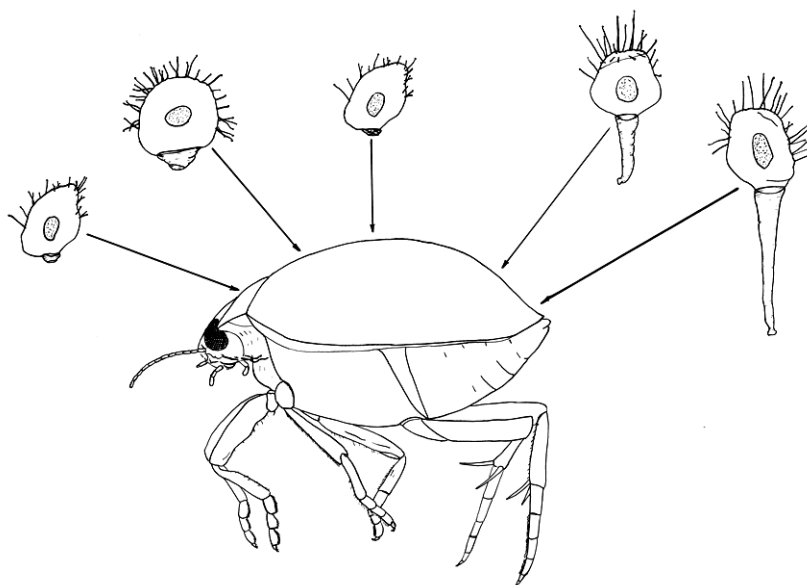
ния: чем ближе к заднему концу тела жука, тем длиннее был ее стебелек. Естественно было предположить, что такая закономерность связана с распределением гидродинамических нагрузок по поверхности надкрыльев. Необходимые расчеты помог выполнить сотрудник Института гидромеханики В.А.Кочин. Действительно, длина стебелька сукторий оказалась достоверно связана с параметрами пограничного слоя. Проанализировав опубликованные в научной литературе сведения об изменчивости размеров инфузорий в зависимости от их локализации, мы окончательно утвердились в своем предположении. И тогда нас стали интересовать не столько сами факторы, действующие на организмы в пограничном слое, сколько механизмы их адаптации к этим факторам [2]. Оказалось, что пограничный слой как биотоп имеет определенную структуру независимо от типа субстрата, что позволило рассматривать его в качестве комплекса потенциальных местообитаний, т.е. своеобразной адаптивной зоны сидячих простейших [3].

Структура пограничного слоя как адаптивной зоны

Чтобы не навлечь на себя гнев читателя-физика, сразу оговорюсь: употребление физического понятия «пограничный слой» в качестве адаптивной зоны в какой-то степени биологическая вольность. Как известно, существуют два подхода к определению размера пограничного слоя. В одних случаях принимается, что эта зона начинается там, где скорость течения на 1% (или 5%) меньше скорости потока окружающей жидкости, в других — на расстоянии от обтекаемой поверхности, на которое отклоняются линии тока жидкости (толщина вытеснения) [4]. Отдельно рассматривается так

называемый диффузный пограничный слой. Все эти величины в нашем случае представляют интерес как составляющие пространственной структуры адаптивной зоны. Поэтому в дальнейшем речь пойдет о слоях, размер которых по нормали к поверхности совпадает с той или иной толщиной (диффузного пограничного слоя, толщиной вытеснения и т.п.), а не о величинах, принятых в гидродинамике.

Если пограничный слой ограничить толщиной вытеснения, то следует учесть, что в этих пределах практически отсутствует течение и гидродинамический упор ничтожен. Здесь же формируется диффузный пограничный слой, в пределах которого из-за отсутствия течения возможна только молекулярная диффузия, скорость которой во много раз ниже, чем у конвекционной диффузии. Таким образом, адаптивная зона включает слой, непосредственно соприкасающийся с обтекаемой поверхностью (для простейших — субстратом) и ограниченный толщиной вытеснения. Здесь из нагрузок действует лишь напряжение сдвига, кроме

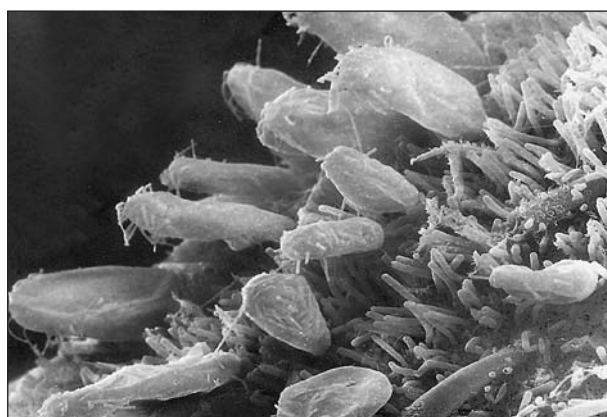


На разных участках верхней поверхности тела водного жука *Nephydrus ovatus* сосущая инфузория *Discophiya lichtensteinii* имеет разную длину стебелька. Оказалось, что это связано с характеристиками гидродинамического пограничного слоя.

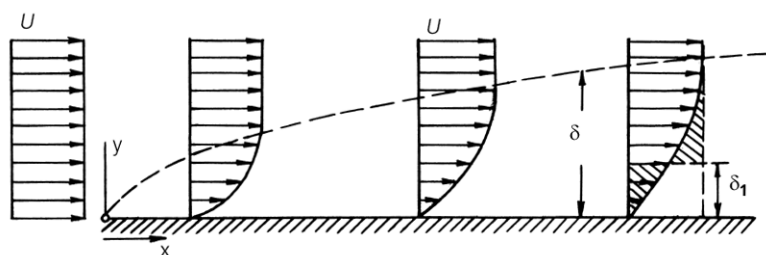
того, возможна только молекулярная диффузия. Далее, до края «классического» пограничного слоя (Сильвестр и Слей использовали «1%-ю» границу) скорость потока повышается, и начинает действовать и гидродинамический упор. Кроме того,

в этом слое возможна конвекционная диффузия, что, конечно, существенно сказывается на транспорте питательных веществ. Такова вертикальная структура адаптивной зоны.

В направлении от переднего к заднему концу обтекаемого



Электронные микрофотографии суктории *Discophrya elongata* на ноге водного клопа *Ranatra linearis*. У верхней поверхности ноги (слева) направление потока, видимо, относительно постоянно, поэтому инфузории наклонены в одну сторону. Увел. $\times 600$. У другой части той же ноги (справа), вероятно, возникают турбулентные вихри, соответственно здесь сукториям трудно «сориентироваться», и они расположены хаотично. Увел. $\times 200$.



У поверхности обтекаемого тела (в данном случае пластины) в пограничном слое (δ) скорость потока (U) постепенно снижается. Если в качестве размера пограничного слоя принимать толщину вытеснения (δ_1), то в ней значение скорости исчезающе мало — происходит так называемое «прилипание» жидкости.

объекта толщина пограничного слоя увеличивается, а величина напряжения сдвига уменьшается. Если речь идет не об идеальном субстрате (пластине), а о реальном объекте, то ближе к заднему его концу происходит отрыв пограничного слоя, и здесь появляются турбулентные вихри, что создает дополнительную нагрузку для сидящих на поверхности организмов. Так формируется горизонтальная структура адаптивной зоны.

Безусловно, помимо гидродинамических нагрузок в пограничном слое должны учитываться и традиционно рассматриваемые факторы — температура, концентрация кислорода, растворенного органического вещества и т.п. Для обитателей пограничного слоя имеют значение даже форма поверхности и другие свойства субстрата. Несомненно, характеристики пограничного слоя будут различны у поверхности камня на дне реки, возле таллома водоросли, растущей в приливно-отливной зоне, или у надкрыльев плывущего жука. В последнем же случае условия постоянно меняются, так как жук перемещается с разной скоростью и в разных направлениях, тем не менее это не мешает инфузориям не просто удерживаться на его поверхности, но и жить, питаясь и производя на свет себе подобных. Как же простейшие сумели ос-

воить столь сложные для существования биотопы?

Адаптации простейших к жизни в пограничном слое

Представители разных групп простейших неоднократно и независимо переходили к сидячему образу жизни, но при этом сталкивались с одними и теми же проблемами. Первоначально подвижные временно прикрепляющиеся формы оказывались в пределах толщины вытеснения и подвергались воздействию только напряжения сдвига. Чтобы закрепиться на субстрате такие протисты должны были обладать органеллами секреции клейких веществ. Дальнейшая их эволюция проходила, очевидно, в направлении усиления функций таких органелл. Помимо этого, селективное преимущество, вероятно, получали формы с расширенным основанием клетки или с базальными ее выростами (для противодействия напряжению сдвига необходима большая площадь контакта с субстратом). В результате в разных группах сформировались распластанные по субстрату, иногда разветвленные, формы.

На этом этапе освоения адаптивной зоны прикрепившиеся организмы оказались в пре-

делах диффузного пограничного слоя. Выход за его границу в область гораздо более быстрой конвекционной диффузии давал простейшим существенные преимущества в обеспеченности пищей. Вероятно, поэтому следующим этапом эволюции прикрепления у некоторых форм стало увеличение их тела. Так, у инфузорий появился стебелек (за счет усиления все той же секреции), позволивший им подняться над субстратом. Но при этом прикрепленные организмы начали подвергаться воздействию еще одной нагрузки — гидродинамического упора. Напомним, что его значение возрастает вместе с увеличением размеров обтекаемого тела, причем более всего в зоне соединения стебелька и клетки. Понятно, что необходимо было как-то обеспечить прочность именно этой зоны.

Существуют три возможных способа укрепить место соединения стебелька и клетки, и, что интересно, все они реализованы простейшими. Первый вариант — чашевидное расширение вершины стебелька, закрывающее основание клетки. Такое расширение известно у инфузорий (сукторий и перитрих) и называется полураковиной, назначение которой раньше убедительно никто не мог объяснить. В дальнейшем из полураковины сформировалась раковина, покрывающая клетку полностью [5]. Утолщение стебелька иной формы (физон) также известно у инфузорий и тоже выполняет функцию защиты зоны соединения. Второй вариант — внедрение верхней части стебелька внутрь клетки. Подобная структура (эндостиль) есть у сидячих инфузорий — хонотрих и сукторий. Третий возможный вариант — внедрение базальной части клетки внутрь стебелька. Он также реализован у инфузорий (перитрих) в виде проходящего по стебельку сократимого выроста клетки — спазмонемы. Первоначальной функцией

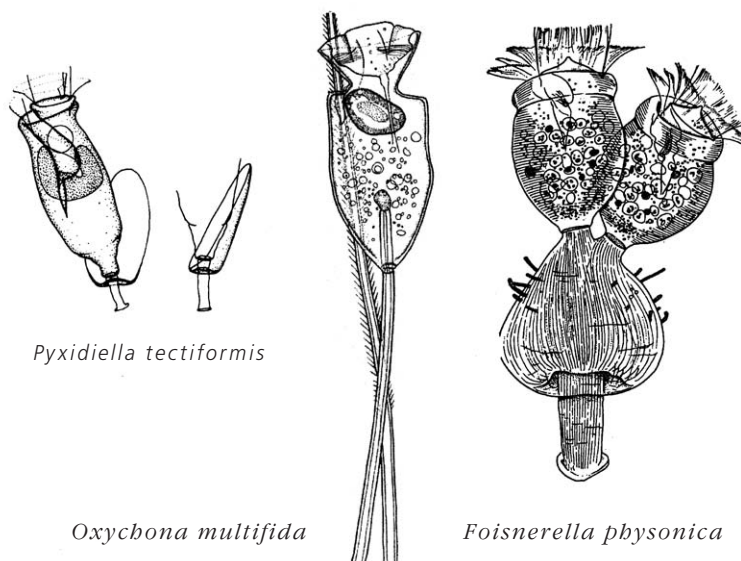
спазмонемы, вероятно, было обеспечение прочности соединения стебелька и клетки, но в этом выросте оказались структуры, которые позволили стебельку сокращаться (микротрубочки и цистерны эндоплазматической сети).

Таким образом, у сидячих простейших (в первую очередь инфузорий) сформировалось удивительное разнообразие прикрепительных органелл, которые позволили им приспособиться к гидродинамическим нагрузкам.

Известны и другие формы адаптации простейших к сидячему образу жизни — например, приспособление к особенностям структуры поверхности субстрата (это относится к видам, которые поселяются в сочленениях тела или конечностей хозяев-членистоногих) или усиление опорной и защитной функции покровов клетки (в частности, у инфузорий хонотрихи и сукторий усиление функции кортекса привело к образованию кутикулы*, часто снабженной различными шипами и другими образованиями).

Наконец, вспомним и о сбранных нами водяных жуках *Nurphodrus ovatus*, покрытых инфузориями *Discophya lichtensteinii*, у которых длина стебелька зависела от их локализации на теле насекомого. Помимо тех гидродинамических нагрузок, которые анализировались британскими специалистами, эти инфузории испытывают допол-

* Кутикула (от лат. *cuticula* — кожа) — плотный внеклеточный покров на поверхности эпителия многоклеточных животных. Для простейших принято использовать другой термин — пелликула, однако для сидячих инфузорий, которых мы рассматриваем, характерно усиление наружных структур, и у них формируется именно кутикула (а пелликула была еще у их предков и никуда не делась). Этот термин уже общепринят у протозоологов, и как раз о возникновении этой новой структуры у наших подопечных (которая есть еще и у кишечных инфузорий) идет речь [6]. Более того, полагают, что у автотрофных организмов переход к сидячему образу жизни привел к появлению у них клеточной оболочки, что в свою очередь считается одной из предпосылок возникновения многоклеточности у растений [7].



Для сидячих простейших (особенно инфузорий) характерно разнообразие структур, защищающих соединение стебелька и клетки. Они развиты тем больше, чем в более экстремальных гидродинамических условиях обитает организм. У перитрихи *Pyxidiella tectiformis*, обитающей на жабрах ельца, стебелек снабжен асимметричной полураковиной — скорее свидетельство адаптации к гидродинамическому упору, чем защита от хищников. Сходную функцию, вероятно, выполняет утолщение стебелька (физон) другой перитрихи *Foisnerella physonica*, обитающей на жабрах морской изоподы *Gnoringosphaeroma noblei*. У хонотрихи *Oxychona multifida* с рачков рода *Nebalia* проникающий внутрь клетки вырост стебелька (эндостиль) занимает почти треть клетки, обеспечивая высокую прочность соединения.

Рисунки Я.Шейбея, А.В.Янковского.

нительные неблагоприятные нагрузки — турбулентность и нестационарность пограничного слоя. Чтобы справиться с нестационарностью, у них сформировался гибкий стебелек, позволяющий простейшему при возрастании гидродинамического упора отклоняться и прижиматься к субстрату. Приспособлением к турбулентности, по всей видимости, служит удлинение гибкого стебелька, что дает возможность двигаться вместе с обтекающей жидкостью, подобно тому, как длинные талломы морских водорослей изгибаются вместе с волнами прилива.

С переходом к прикрепленному образу жизни связано и формирование специализированных органелл захвата и поглощения пищи простейших, но такие адаптации только косвенно связаны с гидродинамическими нагрузками.

Нетрудно заметить, что у простейших неподвижный образ жизни не связан, как у многоклеточных, с утратой каких-либо структур. Наоборот, разнообразие условий в пограничном слое вызвало

развитие дополнительных органелл (в особенности прикрепительных). Более того, произошло усиление функции органелл питания, что привело к увеличению размеров клетки. Несомненно, все эти изменения имели прогрессивный характер [8].

Поселяясь в разных участках пограничного слоя и приспосабливаясь к таким условиям, протисты существенно снизили конкуренцию за субстрат и пи-

щу. Например, разные виды сукторий, которые питаются свободноплавающими инфузориями, при поселении на неорганических субстратах образуют несколько групп по степени высоты над субстратом. Так они, вероятно, делят трофическую нишу. За счет различных адаптаций к напряжению сдвига простейшие по-разному распределяются и по поверхности субстрат. Таким образом, структура пограничного слоя опре-

деляет и пространственную структуру соответствующих сообществ.

Безусловно, это пока еще только схематическая картина условий обитания простейших на обтекаемой поверхности. Но уже первые попытки подойти к изучению сидячих протист с позиций гидродинамики позволили наполнить более конкретным содержанием формулировку «сидячий образ жизни простейших». ■

Литература

1. *Silvester N.R., Sleight M.A.* // *Freshwater Biology*. 1985. V.15. P.433—448.
2. *Довгаль И.В., Кочин В.А.* // *Вестн. зоологии*. 1995. Т.29. №4. С.19—24.
3. *Довгаль И.В., Кочин В.А.* // *Журн. общ. Биологии*. 1997. Т.58. №2. С.67—74.
4. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя. М., 1974.
5. *Довгаль И.В.* // *Вестн. зоологии*. 1998. Т.32. №32. С.18—29.
6. *Герасимова З.П.* // *Зоол. журн*. 1989. Т.LXVIII. Вып.4. С.5—17.
7. *Масюк Н.П.* Эволюционные аспекты морфологии эукариотических водорослей. Киев, 1993.
8. *Довгаль И.В.* // *Журн. общ. биологии*. 2000. Т.61. №3. С.290—304.

Подводные археологи применяют роботы

Французские подводные археологи во главе с Л.Лонгом (L.Long) исследовали затонувшее этрусское судно, время постройки которого относят к 610—460 гг. до н.э. (*Science et Vie*. 2001. №1000. P.15. Франция). Корабль, лежащий в Средиземном море на 60-метровой глубине, изучали с помощью телеуправляемого аппарата. Автоматической фотокамерой провели съемку частей судна, амфор и других предметов быта. Промывка деталей судна крупногабаритным подводным вентилятором, инвентаризация и сортировка предметов также были «поручены» роботизированным устройствам. Методика определения размера предме-

тов по их фотоснимкам (фотограмметрия) позволила провести трехмерную реконструкцию всего корпуса.

По заключению специалистов, применение робототехники в подводной археологии очень перспективно, так как аппараты могут пребывать на глубине продолжительное время и не подвержены кессонной болезни.

Ядовитые птицы

Недавно орнитологи обнаружили, что обитающие в Новой Гвинее птицы из семейства воробьиных (виды *Pitohui dichrous* и *Ifrita kowaldi*) вырабатывают стероидный алкалоид батрахотоксин (*Sciences et Avenir*. 2001. №647. P.24. Фран-

ция). Это один из наиболее сильных природных небелковых токсинов. Специалисты знают, что он содержится в яде короткоголовых лягушек из рода листолазов (*Phylllobates*), однако о существовании ядовитых птиц им известно не было.

Токсин выделяют железы, расположенные в основном на брюшной стороне тела. Чтобы избавиться от паразитов, птица ерзает по гнезду и обмазывает его ядом. Сейчас проводятся опыты, цель которых — понять механизм образования батрахотоксина. Если у лягушек его количество ничтожно (около 50 мг), то у пернатых колеблется в широких пределах. Возможно, это связано с характером потребляемой пищи.

Новости науки

Астрофизика

Парадокс солнечных нейтрино разрешен

Наблюдаемую светимость Солнца обеспечивают ядерные реакции синтеза гелия из водорода. Они сопровождаются излучением нейтрино разных энергий¹. Однако уверенно регистрируемый на Земле поток солнечных нейтрино оказывается примерно втрое меньше теоретически предсказываемого. Наиболее обоснованное предположение, позволяющее разрешить этот парадокс, состоит в том, что нейтрино могут испытывать осцилляции: излучаемые в первичной ядерной реакции электронные нейтрино на пути от Солнца частично переходят в нейтрино двух других типов — мюонные и тау-нейтрино. Последние же в ранее проводившихся наблюдательных экспериментах обнаружению не поддавались².

В недавно появившейся в Интернете статье³ 178 авторов из 15 канадских и американских исследовательских центров представили экспериментальное подтверждение этой гипотезы, оно получено в нейтринной обсерватории Садбери (Канада).

Солнечные электронные нейтрино высоких энергий, образующиеся при распаде изотопа бора ${}^8\text{B}$, регистрировались в реакциях на ядрах дейтерия с участием заряженных токов. Одновременно измерялось упругое рассеяние электронов, вклад в которое вносят и нейтрино двух других типов. Поток электронных борных нейт-

рино (в единицах $10^6\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$) оказался равен 1.75. Точность этого результата характеризуют следующие числа: статистическая ошибка ± 0.07 , систематическая ± 0.12 , возможное теоретическое смещение ± 0.05 . Поток нейтрино, рассчитанный по результатам упругого рассеяния электронов, составил в тех же единицах 2.39 ± 0.34 (статистическая) ± 0.15 (систематическая ошибка).

Полный же поток солнечных борных нейтрино найден равным $(5.44 \pm 0.99) \cdot 10^6\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$, что достаточно хорошо согласуется с результатами моделирования ядерных реакций в центральных областях Солнца. Заметим: он втрое больше потока электронных нейтрино.

Гипотеза преобразования нейтрино по мере продвижения этих частиц от Солнца, вроде бы теперь подтвержденная, подразумевает наличие у нейтрино ненулевой массы. Но она столь мала, что скорость распространения таких частиц практически неотличима от скорости света.

© А.В.Бялко,
доктор
физико-математических наук
Москва

Астрономия

Комета Хейла—Боппа все еще активна

Конец XX в. ознаменовался явлением сразу двух замечательных комет — Хиакутак¹ в 1996-м и Хейла—Боппа² в 1997-м. Осо-

бенно заметным оказался визит поистине классической кометы Хейла—Боппа — с яркой головой и величественным хвостом. Благодаря удачному сочетанию параметров орбиты она несколько месяцев украшала собой ночное небо Земли и успела порадовать великолепным зрелищем жителей и Северного и Южного полушарий.

С момента прохождения кометой перигелия (точки максимального сближения с Солнцем) прошло уже четыре года, и она удалилась от центра Солнечной системы на расстояние около 1.95 млрд км. Если бы комета двигалась в основной плоскости Солнечной системы, то находилась бы сейчас между орбитами Сатурна и Урана, но из-за сильно наклоненной собственной орбиты она наблюдается не вблизи эклиптики, а далеко в Южном полушарии неба, в созвездии Золотой Рыбы.

Поскольку комета со столь крупным ядром (около 50 км в диаметре) — большая редкость, наблюдения за этим объектом все еще продолжаются. Время от времени в сторону кометы направляются 2.2-метровый телескоп Европейской южной обсерватории (Чили). Результаты этих наблюдений в какой-то мере неожиданны: на таком расстоянии от Солнца ей полагается полностью замерзнуть и превратиться в ледяную глыбу. Но комета Хейла—Боппа явно не собирается на покой.

На снимках, полученных в конце февраля и начале марта 2001 г., видно, что из ядра все еще бьет изогнутая струя газа и пыли, а само ядро окружено комой — газовым облаком диаметром около 2 млн км. На таком расстоянии от Солнца оно тоже должно было бы уже рассеяться. У кометы Галлея, например, кома сохранилась

¹ Котылов А.В. Проблема солнечных нейтрино: от прошлого к будущему // Природа. 1998. №5. С.31—40.

² См.: Первое наблюдение тау-нейтрино // Природа. 2001. №4. С.88.

³ <http://www.ArXiv:nucl-ex/0106015v2> (30 June 2001.)

довольно долго, но ее существование скорее всего было связано не с активностью ядра, а с выбросом вещества в результате столкновения с другим космическим телом. Комета же Хейла—Боппа выбрасывает вещество в кому непрерывно и без внешних причин. По-видимому, ее ядро все еще не успело как следует остыть. Не исключено, что необычная активность кометы связана с ее исключительно большими размерами.

Несомненно, этот интересный объект будут наблюдать телескопы Южного полушария еще не один год.

<http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2001/phot-07-01.html>

Планетология

Какая погода на Титане?

Гигантский спутник Сатурна — Титан — единственный из спутников Солнечной системы со сколько-нибудь заметной атмосферой. В ней преобладает, как и в земной, молекулярный азот. Двадцать лет назад снимки, полученные с «Вояджера-1», показывали, что эта газовая оболочка с давлением в ней около 1,5 атм как будто бы однородна. Теперь это мнение опровергают американские ученые во главе с Кейтлин А.Гриффит (С.А.Griffith).

Оказывается, атмосфера Титана пережила непростую историю, и в ней даже сегодня происходят бурные метеорологические явления. Главный вопрос: почему плотность атмосферы этого спутника столь высока? Ведь другие сходные по размерам спутники Сатурна — Ганимед и Каллисто — газовой оболочки вообще не имеют.

Специалисты объясняют этот парадокс различием в температурах, при которых формировались спутники из скопления материи во время образования системы Сатурна. Титан, как они считают, возник в наиболее удаленной от Солнца части протооблака и благодаря очень низким температурам смог сохранить, помимо воды, умеренно летучие вещества —

метан и аммиак, позже превратившийся в азот. Те же спутники Сатурна, что сформировались ближе к Солнцу, оказались нагретыми в большей степени и удерживать летучую оболочку не смогли.

Не исключено, что метан, содержание которого в атмосфере Титана составляет 2—8%, первоначально находился в знакомой нам форме клатрат-гидрата и лишь через 500 млн лет после завершения процесса образования этого небесного тела выделился из отдельных его частей в атмосферу.

Молекулы CH_4 в атмосфере Титана очень неустойчивы: под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца они могли бы разрушиться всего за 10 млн лет. И этот процесс необратим, так как освободившийся водород быстро улечивается в космос, а продукты фотолиза, включая этан и иные органические вещества (их там открыто около 20), выпадают на поверхность Титана. Вероятно, содержание CH_4 в его атмосфере постоянно пополняется за счет криовулканизма — странного, казалось бы, явления, при котором извергаемая вулканом «лава» представляет собой обыкновенный лед. Если это так, то на Титане могут существовать целые озера и моря из этана и метана в жидком виде — ведь температура на его поверхности близка к 94 К. В пользу такой гипотезы говорят изображения, полученные с помощью Оптического телескопа им.Кека: на них заметны очень темные 100-километровые области, которые могут быть резервуарами углеводородов.

Поскольку азот хорошо растворяется в жидких углеводородах, наличие крупных поверхностных их резервуаров означало бы сильную зависимость параметров атмосферы от интенсивности процессов конденсации—испарения азота и метана. Учитывая создаваемый этими газами парниковый эффект, можно предполагать существование мощной положительной обратной связи в климатообразующих

явлениях. Компьютерные модели парниковых процессов на Титане указывают: если действительно там существуют крупные резервуары летучих веществ, то вероятен скорый переход к «теплому» климату с очень плотной атмосферой, температура которой станет примерно на 30 К выше, а давление достигнет нескольких атмосфер.

И вот теперь установлено, что атмосфера Титана весьма динамична — изменения в ней происходят не только за миллионы лет, но и в течение часов и даже минут. Сейчас уже известно, что облака покрывают не более 1% поверхности спутника и живут совсем недолго, легко выпадая дождем или градом. Фактически еще приборы «Вояджера-1» обнаружили перенасыщенность верхней атмосферы Титана метаном, а в такой обстановке облака долго не сохраняются. Но и достичь поверхности спутника каплям дождя непросто. Так, в районе экватора метановая влажность атмосферы всего 25—60%, поэтому капли должны испаряться еще на лету. Подобные процессы обычно завершаются в течение часов, определяя время жизни облака.

В общем климат на Титане следует признать «мягким». Маловата инсоляция, чтобы погодные условия менялись достаточно резко, да и преобразование тепловой энергии в механическую менее эффективно, чем на Земле. Количество осадков едва ли превышает там 0,6 см за целый земной год. Впрочем, если влага изливается одним мощным ливнем, на поверхности Титана должны остаться следы от потоков и, возможно, пересохшие долины.

Какие-то ответы на эти загадки ожидается получить после 2004 г., когда к исследуемой области Солнечной системы приблизится уже находящийся в пути космический аппарат «Кассини»: в течение четырех лет он должен 40 раз облететь вокруг Титана и собрать немало данных об этом небесном теле.

Science. 2000. V.290. №5491. P.467, 507 (США).

Метеоритика. Космохимия

Загадочный метеорит Тагиш-Лейк

Особое место среди метеоритов занимают углистые хондриты класса CI, подвергшиеся незначительным изменениям в ходе эволюции Солнечной системы¹. Однако попадают такие тела в руки ученых весьма редко. Тем интереснее представляется исследование метеорита, упавшего со взрывом 18 января 2000 г. у оз. Тагиш на северо-западе Канады (59°42'с.ш., 134°12'з.д.). Масса метеорита, получившего официальное название Тагиш-Лейк, достигала перед входом в земную атмосферу 200 т, а энергия его взрыва в тротиловом эквиваленте оценивается в 2—3 кт.

Первыми метеорит зарегистрировали инфракрасные и оптические приборы военных спутников США; в полярном сумеречном свете января яркое свечение наблюдали многие жители Аляски и крайнего северо-запада Канады; сделано 24 фотографии и пять видеофильмов, запечатлевших пылевое облако и дымовые следы падения тела. Спустя неделю местный житель Дж. Брук (J. Brook) нашел первый его обломок на льду замерзшего озера; он же отыскал затем несколько десятков фрагментов общей массой 850 г. К маю экспедиция добровольцев собрала еще 410 фрагментов, среди которых один в 2,3 кг. Были приняты все возможные меры против загрязнения их земными веществами.

О последних результатах исследования этого космического странника было сообщено на XXXII Конференции по изучению Луны и планет (Хьюстон, март 2001 г.). Анализ метеорита Тагиш-Лейк продолжается уже больше года, но его свойства все еще озадачивают ученых. Установлено, что скорость вхождения метеорита в атмосферу (под углом ≈16,5° к горизонту) составляла

≈15,8 км/с, а поперечник тела до разрушения — от 4 до 6 м. По своим параметрам орбита Тагиш-Лейка близка к орбитам четырех известных метеоритов Пржибрам, Лост-Сити, Иннисфри и Пикскилл, движение которых наблюдалось инструментально.

Среди примерно одной тысячи метеоритов, наблюдавшихся за последние два века, лишь пять были хондритами класса CI. Два из них в нашем столетии найдены во Франции, один — в Индии и один — на территории нынешней Танзании. Их суммарная масса не так уж мала — 20 кг, однако продолжительные поиски и несовершенство тогдашних приборов не дают уверенности в адекватности результатов их анализа.

Почему же столь распространенные в космосе тела так редко обнаруживаются на Земле, ведь, согласно подсчетам, падение хондрита должно случаться в среднем не реже одного раза в 40 лет? Дело в том, что такие тела очень хрупки. В отличие от каменных метеоритов, вещество которых сходно с земными горными породами, хондриты напоминают скорее «высушенный ил». Входя в плотную земную атмосферу, они просто рассыпаются.

Поэтому Тагиш-Лейк стал настоящим подарком для ученых. Удачными оказались время и место падения: середина зимы в районе Полярного круга и близость к замерзшему водоему, на котором хорошо заметны черные осколки. Если бы стояла теплая и влажная погода, органические вещества в составе метеорита разложились бы, вероятно, за несколько суток. А так даже те обломки, которые были обнаружены спустя месяцы, легко «пережили» небольшие колебания температуры. Полет метеорита наблюдало множество людей, и по сделанным ими фотоснимкам и видеофильмам удалось вычислить орбиту этого тела. Наконец, самое ценное — правильные действия Брука, который не стал трогать находку голыми руками, а первый же килограмм вещества осторожно собрал в полиэтиленовые пакеты и поместил в домашний холодильник.

Пожалуй, это первый случай, когда со «свежим» метеоритом обращались столь бережно. Благодаря этому в лабораторных условиях удалось установить, что Тагиш-Лейк представляет собой редкий экземпляр одного из древнейших углистых хондритов, богатых летучими веществами. Условия, в которых он содержался, препятствовали их испарению. Когда же отдельным обломкам дали нагреться до комнатной температуры, от них начал исходить сильный запах сероводорода.

Состав метеорита не так легко объяснить. Один из фрагментов — это брекчия, состоящая из сцементированных угловатых обломков оливина, магнетита, фаз, обогащенных кальцием и алюминием, а также железо-никелевых сульфидов. Обнаружились в этом теле и включения микроскопических алмазов. Химики надеялись найти в метеорите целое разнообразие сложных органических соединений (как в других углистых хондритах), однако содержание органики в Тагиш-Лейке оказалось в тысячу раз ниже, чем, например, в метеорите Мёрчисон.

Химический состав метеорита Тагиш-Лейк заставляет предположить, что он близок по возрасту к метеоритам класса CI, а по текстуре больше напоминает метеориты класса CM. Не исключено, что специалистам придется выделить Тагиш-Лейк в отдельный класс, а то и вовсе пересмотреть систему классификации хондритов.

Science. 2000. V.290. №5490. P.229, 283, 320 (США); www.Sciencemag.org/cgi/content/full/290/5490/283.

Физика. Техника

Какая страна станет домом для термоядерного реактора ITER?

Япония предпринимает шаги для того, чтобы строительство термоядерного реактора, разрабатываемого по международному проекту ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), осуществлялось на ее

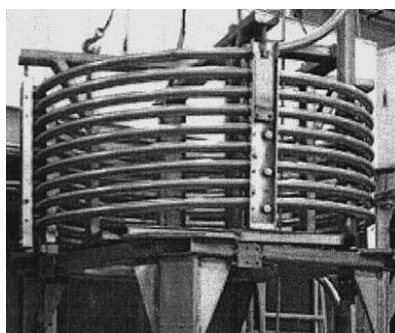
¹ В обозначении класса CI первая буква означает принадлежность к углистым хондритам (*carbonaceous chondrite*), а вторая обычно заимствована из названия наиболее типичного представителя класса.

территории. История ITER¹ длится уже более 10 лет. В свое время этот проект был инициирован Россией. На ее счету к тому времени, помимо самой идеи токамака (принадлежащей А.Д.Сахарову и И.Е.Тамму), был первый мировой опыт двух действующих токамаков (Т-7 и Т-15) — уникальных машин с магнитными системами на основе сверхпроводящего сплава NbTi и сверхпроводящего интерметаллического соединения Nb₃Sn соответственно.

В проекте ITER на этапе разработки конструкции принимали участие специалисты Западной Европы, России, США и Японии. Американцы несколько лет назад отступились от ITER, отдав предпочтение своим национальным проектам в области ядерного синтеза. Однако оставшиеся участники упорно продолжали работу, и это упорство было вознаграждено. В августе 2000 г. в Институте атомной энергии (Япония) был испытан прототип центрального соленоида для ITER в самом сложном динамическом режиме — конструкция полностью оправдала ожидания, стабильно работая в проектных режимах. Ранее, весной 2000 г., при опробовании центрального соленоида в большом объеме было достигнуто статическое магнитное поле рекордной величины 13 Т.

Успех японских испытаний магнитной системы ITER возродил интерес к управляемому термоядерному синтезу как основе энергетики будущего. Сейчас уже можно утверждать, что ITER технологически реализуем, безопасен и важен с научной и прикладной точек зрения.

В 2001 г. заканчивается этап инженерного проектирования всего реактора и параллельных испытаний прототипов отдельных его узлов. Остро стоит вопрос о месте строительства установки. Свои территории предлагают Япония, которая ранее заявляла, что готова взять 70% расходов на строительство, если выбор падет



Общий вид сверхпроводящей спирали для катушки-вставки, изготовленной в России (проект ITER).

на нее, а также Канада и Франция. В марте с.г. Национальная комиссия по атомной энергии Японии сообщила о поддержке своего намерения, подчеркнув, однако, что строительство не должно нанести ущерба другим японским программам в области ядерного синтеза.

Недостаток естественных энергетических ресурсов делает Японию исключительно заинтересованной в размещении ITER. «Энергетическое будущее Японии — с ядерным синтезом», — заявил Х.Йосикава (H.Yoshikawa), президент Национального института перспективных наук и технологий для промышленности. Однако исследователи, работающие по уже принятым национальным проектам Японии по термоядерному синтезу, неохотно соглашались с идеей столь дорогостоящего международного проекта на своей территории, опасаясь возможного урезания их бюджетов.

Два японских института — Исследовательский институт атомной энергии и Национальный институт термоядерных исследований — занимаются проблемой магнитного удержания ядерной плазмы и нагреваania ее до температур, при которых начинается ядерный синтез. Наиболее перспективный вариант — токамак со сверхпроводящей магнитной системой, которая позволяет при разумных энергозатратах получить достаточно сильные магнитные поля. Существует и другой подход для реализации термоядерной реакции — так называемый инерци-

онный термояд, в котором на крохотные таблетки ядерного топлива воздействуют мощными импульсами лазерного излучения. Соревнование между магнитным и инерционным подходами в последнее время значительно активизировалось. И похоже, у Японии хватит средств на все проекты. По сегодняшним оценкам, бюджет ITER составляет 3.3 млрд амер. долл., что легко уложится в японские затраты на науку, составляющие в среднем 40 млрд долл. в год.

Россия, инициатор ITER, активно участвует на всех этапах его реализации. Среди российских специалистов еще сохраняется надежда (хотя и робкая), что ITER будет строиться именно в России. Так, сверхпроводящую катушку-вставку для центрального соленоида разрабатывали и изготавливали совместными усилиями три российских организации — ГНЦ ВНИИ неорганического материаловедения им.А.А.Бочвара (Москва), НИИ электрофизической аппаратуры им.Д.В.Ефремова (Санкт-Петербург), ВНИИ кабельной промышленности (Москва). Размеры катушки внушительны: высота 5 м, диаметр 2 м. Ныне она специальным авиарейсом отправлена в Японию, где будут проведены ее испытания в составе центрального соленоида ITER.

По словам одного из разработчиков сверхпроводящих магнитных систем для российских токамаков Т-7 и Т-15, директора Института сверхпроводимости и физики твердого тела РНЦ «Курчатовский институт» Н.А.Черноплекова, ITER — это, конечно, только экспериментальный реактор, хотя и очень близкий к промышленному источнику энергии. Согласно оптимистичному прогнозу, термоядерная электростанция начнет давать энергию потребителю к 2050 г., как раз успевая к исчерпанию «дешевых» запасов нефти и газа.

Nature. 2001. V.410. P.856 (Великобритания); <http://perst.isssp.kiae.ru/inform/perst/p110/index.html>

¹ Подробно см.: Мирнов С.В. Токамаки: триумф или поражение? // Природа. 1999. №11. С.10—22; №12. С.26—37.

Биология

Где и когда приручали лошадь?

Лошадь относится к числу первых животных, одомашненных человеком. Однако до сих пор среди ученых нет единого мнения о том, где и когда люди приручили ее. К сожалению, по археологическим находкам костей этого животного на стоянках древнейшего человека нельзя понять, была ли лошадь съедена, или наши предки использовали ее для передвижения.

Биологи-эволюционисты К.Вила и Х.Эллегрен (С.Vila, H.Ellegren; Упсальский университет, Швеция) предложили решать проблему одомашнивания по-иному — генетически. Для этого они сравнили у современных и древних животных митохондриальную ДНК (мтДНК), которая, как известно, наследуется только по материнской линии. Авторы исследовали лошадей Пржевальского и домашних (191 особь центральноевропейских пород и потомков тех, что некогда были завезены в Исландию викингами). Генетический материал древних животных выделен из костных остатков (возрастом более 12 тыс. лет), найденных в вечной мерзлоте Аляски, а также в Южной Швеции и Эстонии (возраст этих находок 1—2 тыс. лет). Так как мутации накапливаются быстрее именно в мтДНК, по ее изменчивости можно судить об истории разведения животного в течение последних тысячелетий.

Если бы исходно лошадь одомашнивалась в каком-то единственном месте, мтДНК современных животных были бы очень сходными. Но, по данным шведских биологов, они имеют много различий. Значит, считают авторы, существовало несколько центров одомашнивания (скорее всего это были степи, ныне простирающиеся на Украине, в Казахстане и Монголии), где приручение происходило независимо.

Science. 2001. V.291. №5503. P.412, 474 (США).

Охрана природы

Тихоокеанские кожистые черепахи — у последней черты

Зоологи в последние десятилетия так часто бьют тревогу по поводу угрозы исчезновения тех или иных видов, что к их призывам, к сожалению, перестают прислушиваться. И все-таки в некоторых случаях драматизм ситуации пугающе ощутим. Особенно если речь идет об очень заметных и хорошо известных животных. Таких, например, как кожистая черепаха *Dermobelys coriacea*. Самые крупные из современных черепах, они могут достигать более чем двухметровой длины. Известны особи с массой тела до 450 кг.

Кожистая черепаха свободно бороздит Мировой океан (подплывала и к дальневосточным берегам России) и повсеместно становится все более редкой. В последние годы осуществляется немало национальных и международных проектов по сохранению и восстановлению численности этих уникальных рептилий, о чем регулярно появляются публикации-отчеты. Однако недавнее обзорное сообщение группы американских исследователей из Дрексельского университета и Центра сохранения биоресурсов моря (Drexel University, Center for Marine Conservation) словно ушат холодной воды выливает на тех, кто с оптимизмом воспринимает достигнутые результаты.

Американские специалисты подвели итог своих многолетних наблюдений за мечеными кожистыми черепахами из популяции, гнездящейся в Коста-Рике (четвертая по размерам популяция в мире), а также проанализировали общемировую ситуацию с этим видом. Просчитав на основании собственных данных прогнозную математическую модель, позволяющую оценивать перспективы существования вида, они пришли к крайне неутешительному итогу. В костариканской популяции число возвращающихся для откладки яиц самок слишком низко: из че-

репах, помеченных в 1993—1994 гг., в следующие пять лет вернулись только 12%, из помеченных в 1994—1995 гг. — 19%. Если в конце 80-х годов здесь откладывали яйца почти 1400 самок, то в 1997—1998 гг. — только 117. Причем нет никаких оснований надеяться, что черепахи приплывут позднее, — средний период возврата к местам гнездования всего около четырех лет. Не могли черепахи поменять и место гнездовий: они слишком хорошо заметны, и ведущиеся в последние годы наблюдения с использованием современных средств (включая космические спутники) их обязательно выявили бы. Нет сомнения — черепахи гибнут. И даже работы по их искусственной инкубации не могут изменить ситуацию. Согласно модели, через пять лет будет достигнут критический минимум численности исследуемой популяции.

Не лучше положение и в других регионах. Если в 1982 г. на Земле жило примерно 115 тыс. взрослых кожистых черепах, то к 96-му их число сократилось до 34,5 тыс. К 94-му этих животных не стало в Шри-Ланке (в Индии они исчезли еще в 30-е годы); в Малайзии в 1994 г. зарегистрировано только две особи; мексиканская колония сократилась с 70 тыс. в начале 80-х до менее 250 в 1998—1999 гг. Американские специалисты полагают, что в настоящее время во всем Тихом океане сохраняется не более 3 тыс. этих морских гигантов. При этом ежегодная их смертность превышает 20%, в то время как популяция в состоянии вынести гибель лишь 1% взрослых особей в год. По мнению ученых, тихоокеанские кожистые черепахи находятся на пороге полного исчезновения.

И все-таки судьба черепах не безнадежна. Ведь причина их исчезновения достаточно хорошо известна: гибель в рыболовецких снастях. Значит, более осторожное рыболовство с незамедлительным введением в практику технических приспособлений, исключающих уничтожение живот-

ных, а также еще более активная работа по искусственной инкубации яиц могут изменить ситуацию к лучшему.

Nature. 2000. V.405. №6786. P.529–530 (Великобритания).

Геология

Планы бурения в океане на ближайшие годы

Несомненно, океанское глубоководное бурение — грандиозное событие в мировой науке. Первые скважины в рамках Международного проекта глубоководного бурения (Deep Sea Drilling Project) были пройдены в 1968 г. с борта американского научно-исследовательского судна «Гломар Челленджер». Оно проработало до 1983 г., совершив 96 рейсов и пробурив свыше 500 скважин в трех крупнейших океанах Земли. Были получены уникальные данные о строении, составе, возрасте осадков и твердых пород океанского дна.

В 1985 г. в строй вступило более совершенное судно «ДЖОИДЕС Резолюшн», которое проводит рейсы по Программе океанского бурения (Ocean Drilling Program)¹. Уже состоялось более 90 рейсов этого нового судна, а за весь истекший период глубоководного бурения пройдено свыше 1200 скважин.

В экспедициях 2001–2002 гг. предстоит изучать: изменения климата на Земле; причины и следствия колебаний уровня океана; осадки, флюиды и бактериальные процессы; биоту земных глубин; потоки тепла и вещества в земные глубины и из глубин; деформации в литосфере и их связь с землетрясениями².

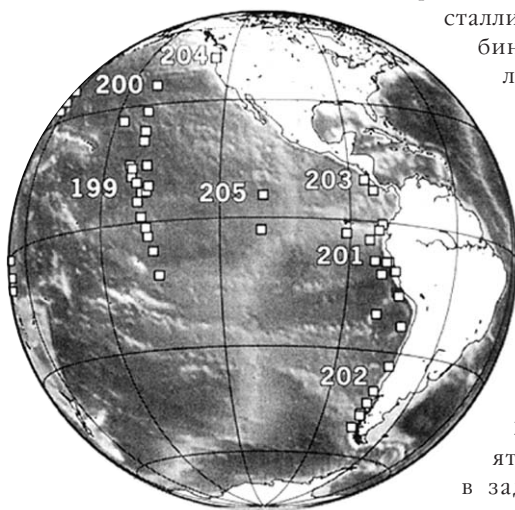
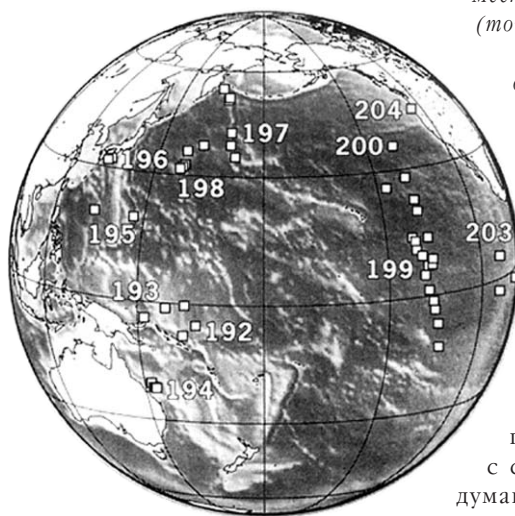
Эти экспедиции будут проводиться в центральной и западной частях Тихого океана (частично они уже осуществлены).

Интересная задача ставится

¹ См.: Басов И.А. «ДЖОИДЕС Резолюшн»: рейсы продолжаются // Природа. 2001. №6. С.18; Он же. Роль Южного океана в эволюции климата Земли (177-й рейс) // Там же. №8. С.26–27; Он же. Эволюция ледового щита Антарктиды (178-й рейс) // Там же. №9. С.69–70.
² Eos. 2001. V.82. №18.

перед участниками рейса в район Императорского подводного хребта, расположенного севернее Гавайского. Принято считать, что Гавайско-Императорская горная цепь сформировалась на движущейся в северном направлении Тихоокеанской литосферной плите благодаря «прошивающему» ее потоку разогретых масс, которые поступают с огромных земных глубин. Тем самым утверждается, что Гавайская горячая точка существует в одном и том же месте в течение весьма длительного времени — 65–70 млн лет. Но можно представить и обратную картину: движется сама горячая точка, притом в направлении с севера на юг. В таком случае действующие на

Места глубоководного бурения (точки), запланированного на 2001–2002 гг. Числами обозначены номера рейсов.



о.Гавайи вулканы находятся на окончании крупнейшего разлома литосферы, продвинувшегося сюда с севера. Эту гипотезу задумано проверить в 197-м рейсе. Планируется войти в кристаллические породы на глубину 150–250 м, определить их абсолютный возраст и широты их первичного образования, используя палеомагнитный метод.

Экстремальные изменения климата в меловое и палеогеновое время будут изучаться на поднятии Шатского (рейс 198). Осенью 2002 г. должен состояться 204-й рейс судна, в задачи которого входит изучение газогидратов на поднятии Гидратов.

Океанскому бурению и впредь будет уделяться большое внимание, несмотря на значительные затраты, необходимые для его проведения. В 2003 г. планируется начало работ на новом мощном буровом судне, которое построено в Японии.

Результаты глубоководного бурения служат не только развитию фундаментальной науки, но и решению проблем прикладного характера. Настало время, когда человечество без разностороннего и обстоятельного изучения океанских глубин обходиться не может: слишком сильно зависит его благополучие от океана.

© Академик
Ю.М.Пуцаровский

Вспоминая А.И. Ахиезера

№3 в списке Ландау

В.Г.Баръяхтар, *Киев*

М.И.Каганов, *Бостон*

Г.Я.Любарский, *Чикаго*

Александр Ильич Ахиезер (1911—2000) умер на 89-м году жизни в Харькове. Он, похоже, — один из последних участников той группы молодых физиков-теоретиков, которая объединилась в 30-х годах вокруг чуть превосходившего их по возрасту Л.Ландау и стала основой будущей всемирно известной Школы Ландау. Именно тогда был сформулирован теорминимум — перечень необходимых знаний для самостоятельной работы в теоретической физике. Среди первых его сдал Ахиезер. В списке, составленном Ландау, у него третий номер с пометкой «1935 г.». Заметим, в теоретический отдел Украинского физико-технического института (УФТИ) Ахиезер был принят за год до этого, после окончания Киевского политехнического института; одновременно он начал преподавать в Харьковском университете. Ландау руководил Теоретическим отделом УФТИ до 1938 г.

В Харькове стал создаваться знаменитый Курс теоретической физики (Ландау—Лифшиц). Помимо полного курса предполагалось изложить физику на нескольких разных уровнях.

Спустя много лет, в 1962 г., Ахиезер в соавторстве с Ландау и Е.Лифшицем написал первую часть «Механики и молекулярной физики». В последующие годы, продолжая дело, начатое учителем, уже самостоятельно он издал полный курс общей физики.

Научную юность Ахиезера можно было бы считать прекрасной порой, если бы не период репрессий. Многие, с кем Александра Ильича связывала дружба, были арестованы, некоторые расстреляны. Ландау пришлось бежать из Харькова, что, правда, не спасло его от ареста. К счастью, героическое заступничество П.Л.Капицы привело к тому, что после года необоснованного тюремного заключения Ландау был освобожден.

До автомобильной катастрофы в 62-м году, прервавшей научную жизнь Ландау, Ахиезер активно и плодотворно общался с ним, участвовал в работе семинара: докладывал все наиболее значительные свои работы и представлял работы учеников.

Принадлежность к Школе Ландау поддерживалась не только общением с последним и участием в семинаре. Ахиезер дружил с И.Я.Померанчуком

и В.Б.Берестецким — яркими представителями этой школы. Дружба возникла с давних времен УФТИ и крепла год от года.

В 1948 г. Ахиезер и Померанчук издали монографию «Некоторые вопросы теории ядра», опередившую время. В книге была выстроена и изложена теория резонансных ядерных реакций в твердом теле (до открытия эффекта Мёссбауэра!).

Книга была написана еще в 1944—1945 гг. по заданию И.В.Курчатова с целью подготовки кадров для ядерной промышленности СССР. Интересно отметить, что по просьбе Игоря Васильевича книга содержала раздел, посвященный обработке результатов эксперимента.

Александр Ильич вспоминал: «Мы с Чуком (так звали Померанчука друзья и коллеги) не хотели писать этот раздел. Он ведь неинтересный, но Борода призвал и говорит, что написать надо. И что, мол, кроме вас, никто этот вопрос культурно не напишет. Нам в ядерной промышленности, сами понимаете, говорит Борода, ошибок делать нельзя. Бороде мы отказать не могли, и этот раздел написали».

В 1948 г. в открытой печати появилась только небольшая

часть этого фундаментального учебного пособия. В настоящее время в Институте экспериментальной и теоретической физики РАН готовится к изданию полный текст.

В 1954 г. Ахиезер совместно с Берестецким написали монографию «Квантовая электродинамика», проникнутую тем отношением к теоретической физике, которому учил Ландау. Это первое подробное, связанное изложение одной из важнейших областей современной теоретической физики, предвосхитившее IV том Курса теоретической физики Ландау и Лифшица. По этой монографии несколько поколений физиков-теоретиков постигало новую науку.

В основу подхода Ахиезера к теоретической физике легли годы ученичества у Ландау. Прежде всего — представление о теоретической физике как о единой науке, удивительное трудолюбие, отсутствие страха перед трудностями вычислений и одновременно успешные поиски кратчайшего пути, свободное владение теорфизическим аппаратом, позволяющее всегда быть готовым к решению новых задач.

Трудно найти область теоретической физики, в которой у Ахиезера не было бы существенных результатов. Выполненные им и его ближайшими коллегами работы посвящены ядерной физике, квантовой электродинамике, физике элементарных частиц, физике плазмы, магнитной гидродинамике, теории ускорителей, теории твердого тела, магнетизму.

Обилие новых оригинальных результатов было бы невозможно, если бы Александр Ильич не привлекал к работе своих учеников. Щедро делиась идеями,

Ахиезер умел слушать и воспринимать других. Каждая работа с соавторами — результат совместных творческих усилий.

Поражает тематика написанных Ахиезером книг — по спиновым волнам, электродинамике плазмы, физической кинетике, теории полей и фундаментальных взаимодействий, — а также учебников практически по всем разделам общей физики.

Александр Ильич был великим тружеником. И одновременно незабываемой, яркой личностью. Он оставил замечательное наследство: более двадцати монографий (из них несколько всемирно известных), большое количество оригинальных идей и конкретных научных результатов, сотни статей. Его достижение — десятки учеников, активно работающих в различных областях теоретической физики.

Ахиезер придавал огромное значение совершенству формы. Его статьи были образцом научной прозы, а выступления на форумах всех уровней — произведениями ораторского искусства. Он учил, как следует писать статьи, заставляя по несколько раз переделывать их, добиваясь простоты и точности при изложении трудных вопросов.

В мрачные годы борьбы с «космополитизмом» и «идеализмом» в физике Ахиезер выступал в печати и на конференциях с темпераментной и профессиональной философской критикой в адрес тех, кто обвинял ученых, «поддерживавших вредные идеалистические теории» Н.Бора и А.Эйнштейна. Публичные выступления Александра Ильича были уроком мужества и честности для всех, кто его слышал.

Много времени Ахиезер тратил на то, чтобы сохранилось честное свидетельство о людях, творивших физику, и о времени, в котором они жили. Им написаны воспоминания о Ландау.

Большую часть своей жизни Александр Ильич прожил в Харькове, был активным членом Украинской академии наук. Его ученики работают в научных институтах Харькова, Киева, Донецка. Совмещая научную и преподавательскую деятельность, Ахиезер десятилетиями руководил Теоретическим отделом УФТИ и кафедрой теоретической физики Харьковского университета.

Его манера держаться привлекала людей. Обсуждая с коллегами какую-нибудь новую теорию или идею, он находил слова, отражающие суть дела, и любил громко и многократно их повторять. Сильные выражения предпочитал безликим. Это не мешало ему оставаться деликатным, благожелательным и вдумчивым учителем. Каждая встреча с ним была радостью для собеседников.

Надо сказать, жизнь не баловала Александра Ильича: в 1989 г. умер его сын, талантливый физик-теоретик. В последние годы жизни Ахиезер для всех, кто знал его, служил примером мужества. В середине 90-х он практически потерял зрение, но ни на день не прекращал работать, генерируя новые идеи и непосредственно участвуя в их разработке.

Мы много лет работали под руководством Александра Ильича бок о бок. У каждого остались свои личные воспоминания, скорбь по ушедшему учителю и старшему товарищу. ■

Глазами Ахиезера

М.И.Каганов

Бостон

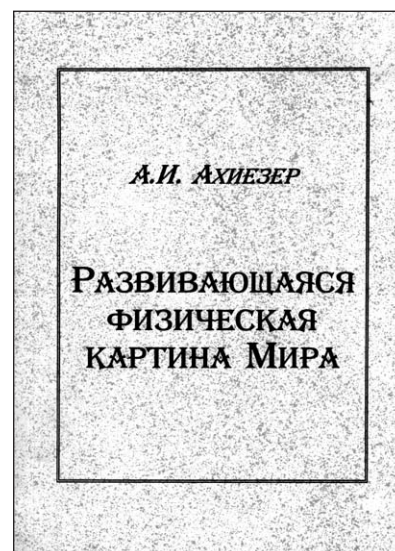
В предисловии к последнему труду Ахиезера сказано: «В этой книге рассказывается о фундаментальных идеях, лежащих в основе физической науки. Автор хотел бы, чтобы перед читателями после ознакомления с историей возникновения и влияния этих фундаментальных идей предстала развивающаяся картина Мира во всем ее величии». Понимая, что «физическая теория и ее математический аппарат неразрывны», автор все же ставит перед собой задачу не использовать математику, «так как использование ее очень затруднило бы чтение». Естественно, возникает вопрос: на какого читателя рассчитана эта книга? Автор отвечает: «Хотелось бы думать, что она [книга] представит интерес для физиков, как преподающих, так и занимающихся исследовательской работой, для изучающих и любящих физику и математику студентов и учеников старших классов средних школ, и для биологов, и для философов, и вообще для всех, кто интересуется современным естествознанием».

Вероятно, круг читателей несколько преувеличен. Правда, интерес (в данном случае к современному естествознанию) часто позволяет постигнуть, ка-

залось бы, непостижимое. И все же, хотя Ахиезер выполняет обещание и математику не использует, книга не проста. С наибольшим интересом и несомненной пользой ее прочтут физики. Сегодня эта наука столь широка и разнообразна, что осталось не так много людей, знающих ее целиком. Работая, каждый в своей области, студенты старших курсов, аспиранты да и большинство ученых теряют перспективу, перестают видеть все здание науки. Никого не удивляет, что, попав на чужую конференцию или открыв статью из чужого раздела, ученый не понимает коллег. Книга Александра Ильича нужна физикам.

Подчеркивая широту современной физики и представленный о Мире, автор именуется разделы книги мирами. Механический мир Ньютона сменяется электромагнитным миром Максвелла, тот — релятивистским миром Эйнштейна и квантовым миром. Несколько искусственно названы пятый и шестой разделы «Ядерный мир» и «Мир элементарных частиц» — здесь слово «мир» имеет более узкий смысл, чем в первых четырех.

Считается, что научно-популярные книги занимают место между научными трудами и беллетристикой, вбирая черты и тех и других. Книга Александра Ильича не беллетристика.



А.И.Ахиезер. РАЗВИВАЮЩАЯСЯ ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА.

Харьков: ННЦ ХФТИ, 1998. 338 с.

© М.И.Каганов

И по-моему, в этом — одно из ее достоинств. Автор верит, что его интерес к процессу изменения, совершенствования и углубления физической картины Мира разделяет читатель, и не пытается искусственно добиваться увлекательности. Рассказ привлекает именно тем — самым главным, — что автор хочет поведать читателю.

Научно-популярная книга обретает особую ценность и притягательность, если ее автор — специалист в своей области. Зная многогранность профессиональной научно-исследовательской деятельности Ахиезера, понимаешь, что он пишет не просто о том, что знает, но о том, в создании чего принимал непосредственное участие. К сожалению, он «обошел молчанием» макроскопическую физику, в которой ему принадлежат выдающиеся результаты. Без квантовой теории конденсированных тел наши представления о квантовом мире не полны. Ахиезер, несомненно, это прекрасно понимал. Следовательно, «умолчание» сознательно. Не высказываясь, автор как бы утверждает, что картина мира в основном, в главном есть результат понимания характера движения отдельных структурных единиц материи. Остальные построения вторичны. Нет никаких сомнений, что без понимания свойств атомных и субатомных частиц даже пытаться нарисовать физическую картину Мира невозможно понять, не поняв особенностей поведения макроскопических коллективов частиц. И на «пути» от атома к макроскопическому телу (скажем, к сверхпроводнику) нас подстерегают принципиальные трудности, для преодоления которых требуется не меньше вдохновения, фантазии и математической изощренности, чем на «пути» от электрона к атому. Введение новых понятий и концепций, столь характерное для современной физики, как под-

черкивает автор, необходимо для создания разумной физической теории. Это абсолютно правильное утверждение относится не только к физике частиц, но и в равной мере к физике конденсированной материи.

Во многих научно-популярных книгах авторы, обещая не применять математических формул, не то что забывают об этом — приближаясь к концу книги, оговариваясь и принося читателям извинения, как правило, не справляются со взятыми обязательствами. В книге Ахиезера формул нет. Автор — опытный лектор. Он знает, что даже выписанную на доске формулу необходимо прочесть, произнести. Иначе она не воспримется. Но у слушателя-читателя нет перед глазами доски. Надо признаться, это несколько мешает.

А у меня, как у читателя-рецензента, возникает желание видеть книгу другой. Эта издана очень скромно. По-видимому, причиной тому бедность. Игнорируя сиюминутную ситуацию, я думаю о новом издании. В нем текст должен занимать не всю страницу, есть большие поля с формулами. Там же — рисунки, схемы, портреты тех, трудами которых создана современная физическая картина Мира.

При всей конспективности изложения в книге удивительно много конкретного материала. Лет десять назад на ученом совете Отделения физики твердого тела физического факультета МГУ обсуждался вопрос о введении обзорного курса с условным названием «Современная физика». Выступавшие сетовали на то, что выпускники Отделения плохо ориентируются в современном состоянии науки. Это находится в противоречии с обозначенной в их дипломе специальностью. Но организовать чтение курса так и не удалось. Одна из причин — отсутствие подходящего учебника, роль которого отчасти могла бы сыграть рецензируемая книга.

Следует отметить некоторую «неодинаковую прочность» раз-

делов — миров, пользуясь выражением автора. От шестого раздела «Мир элементарных частиц», признаюсь, я ждал большего. В нем объединено более 400 элементарных частиц. Цитирую: «Их количество значительно превосходит количество элементов в Периодической системе элементов Менделеева». Это сравнение, пожалуй, исчерпывает слова удивления по поводу того, что элементарных сущностей так много. А ведь читатель знает, что все элементы, вошедшие в таблицу Менделеева, построены всего из трех частиц. Пытаясь добратся до самого глубокого уровня структуры вещества, физика (в какой-то мере неожиданно) столкнулась с необычайно населенным миром. Конечно, в этом же разделе говорится о кварках. И их немало. Но само обилие и разнообразие семейств элементарных частиц описано слишком формально и, я бы сказал, холодно. Читателю очень важно вовремя удивиться, а значит, и автору — удивить. Тонем, акцентом. Отсутствие эмоций по поводу обилия элементарных частиц я считаю недостатком.

Грустно высказывать критические замечания, зная, что автор лишен возможности дискутировать. У Александра Ильича много активно действующих и, уверен, преданных учеников. Они должны взять на себя заботу о переиздании. От рецензируемой книги будущее издание может (а возможно, должно) отличаться не только оформлением, но и добавлениями, иногда разъяснениями. Особенно в разделе, который мы обсуждаем. Ведь именно в этом мире проходит граница между знанием и незнанием. Граница эта не стоит на одном месте. Она передвигается. И новые «завоеванные» области должны быть «присоединены» к миру элементарных частиц. Иначе читатель получит устаревшее описание.

Вторая неожиданность в мире элементарных частиц — судьба кварков.

Впервые физика встрети-лась с принципиально новой ситуацией. Со времен Э.Резерфорда физики пытались «раздробить» исследуемый объект и воспользоваться осколками для определения его состава. На уровне нуклонов и мезонов эта схема перестала работать. Пожалуй, ни у кого сейчас нет сомнений, что барионы и мезоны состоят из кварков. Но одновременно выяснилось, что кварки нельзя наблюдать в свободном состоянии. По-моему, в книге недооценена гносеологическая глубина имеющей место ситуации. Оговорена и разъяснена достаточно подробно в пятом разделе возможность распада на то, чего нет внутри (т.е. рождение частиц, как при β -распаде). А существование *внутри* того, чего нельзя (похоже, принципиально) извлечь *наружу*, по-моему, заслуживало больше слов и, главное, эмоций.

Перечитал короткую главу «Квантовая хромодинамика» (с.273—278). При такой манере изложения, думаю, этого достаточно. Но сосредоточить внимание читателя на том, что мы встретились с качественно новой ситуацией, было бы нужно. Десятилетия углублений в структуру вещества напоминали разборку матрешек. Кварковая модель принципиально отличается от всего, с чем физики оперировали до сих пор. Разъяснив природу асимптотической свободы, «то есть обращение эффективной константы взаимодействия в нуль при $k \rightarrow \infty$ », автор заканчивает раздел: «Таким образом, теория цветных кварков, взаимодействующих с безмассовыми цветными глюонами, основанная на локальной цветовой симметрии $SU(3)_c$, с единой точки зрения объясняет основные свойства сильного взаимодействия» (с.278). Мне представляется, здесь было бы весьма полезно дать волю эмоциям, не стесняясь восторгаться достигнутым. Тем более что Александр Ильич умел это делать как никто другой.

В процитированном предисловии Ахиезер, очерчивая круг читателей, называет и философов. Философам книга, действительно, должна быть интересна. Не столько теми разделами, которые непосредственно посвящены философским аспектам физики, сколько внимательным разъяснением исторической необходимости смены идей в процессе познания Природы. Автор сосредотачивает внимание на главном, выделяет из огромной совокупности фактов, которые представляют историю физики, конкретные примеры, парадоксы и противоречия, послужившие причиной научных революций. Специально подчеркивается, что смена парадигм не означает уничтожение добытого знания. Научные революции «бескровны». Например, квантовая механика не отменила классическую, а очертила группу явлений, которая доступна механике Ньютона. Естественно, гносеологические проблемы квантовой механики как наиболее сложные привлекли особое внимание Ахиезера (с.198).

Из всех естественных наук физика больше всех содержит математики. Возможность и необходимость использования глубоких математических методов для решения физических задач привели «к разделению физики на две науки — физику экспериментальную, которая с помощью экспериментальных устройств исследует закономерности существующих в окружающем нас мире форм материи и создает новые формы материи, не существующие непосредственно в земных условиях, и физику теоретическую, которая математически отображает закономерности различных форм движения материи, то есть создает математические модели различных форм движения материи и с помощью них предсказывает новые явления» (с.294). Автор анализирует единство физической теории и ее математического формализма (с.283—295).

Заниматься теоретической физикой невозможно без свободного владения математическим аппаратом. Знание правил, алгоритмов — *необходимое* условие, но *недостаточное*. Нужно *понимание*. Редко оно приходит без разъяснений. Нужны слова. Формулы, уравнения как бы безлики, лишены наследственных признаков. Скорее, наоборот, служат своеобразной характеристикой открывших их ученых. Услышав фамилию *Шредингер*, мы прежде всего вспоминаем *уравнение Шредингера*, а только потом (и к сожалению, отнюдь не всегда) живого человека, австрийского ученого (не еврея), покинувшего фашистскую Германию, говоря скучным языком, по политическим соображениям. Слова, если это не формальные определения вводимых понятий и правил, всегда эмоционально окрашены и несут на себе отпечаток личности автора. Поэтому несомненное достоинство книги в обилии цитат. Творцы новой физики непосредственно говорят с читателем со страниц книги. Знакомству с Ньютоном, Максвеллом и Эйнштейном читателю помогают короткие биографические главы, содержащие самое главное о наиболее великих героях истории физики, а заключительный перечень «Квантовая хроника. События и люди» (с.297) помогает ознакомиться с основными перипетиями удивительно богатого достижениями прошлого века.

XX век еще ждет своего осмысления, но нет сомнений, что создание и *использование* атомной бомбы наложило неизгладимый отпечаток на всю его вторую половину. Поэтому небольшая (по масштабам книги) глава «Из истории урановой проблемы» (с.248—260), включающая раздел «Ядерный мир», абсолютно уместна. В этой главе *почти* не слышен голос Александра Ильича. Дав слово Эйнштейну (в его письме к президенту США Ф.Рузвельту), потом

отсылает его к Вернеру Гейзенбергу. Почти полностью приведена лекция Гейзенберга, прочитанная им для военных в Германии 26 февраля 1942 г. (с огромным интересом, признаюсь, читал впервые), и большой отрывок из читанных мной ранее воспоминаний, публиковавшихся в его переводной книге «Физика и философия. Часть и целое». В заключение главы Ахиезер пишет: «Трудно даже подумать, какая катастрофа постигла бы мир, если бы Гитлер получил атомное оружие!» (с.260). А перед этим: «К решающей идее <...> пришел не только Ферми, но и Гейзенберг. И возможно, благодаря своей экономической мощи Америка смогла создать атомное оружие раньше Германии». Видно, Ахиезер не разделял высказываемое некоторыми мнение о том, что Гейзенберг сознательно саботировал создание атомного оружия фашистской Германией.

Александр Ильич участвовал в решении урановой проблемы в СССР. Долгие годы он руководил Теоретическим отделом Харьковского физико-технического института, который именовался Лабораторией №1 (напомню, что Институт атомной энергии был Лабораторией №2). Он не делится своими вос-

поминаниями, не упоминает никаких подробностей, ограничившись лишь одной фразой: «Первый ядерный реактор в СССР был сооружен И.В.Курчатовым в 1946 году» (с.248).

Я не знаю, в чем причина, моему, несколько излишней «скромности» автора. Возможно, она тривиальна. Просто Ахиезер считал, что в этой книге не место воспоминаниям. Но на меня воспоминания нахлынули. С 1949 по 1970 г. я был сотрудником того же института, работал в отделе, руководимом И.М.Лифшицем. Но деление на отделы было довольно условно. Некоторые из своих первых работ я делал по тематике, близкой Ахиезеру. И что меня особо радует — у нас есть совместные работы. Правда, совсем не по атомной проблеме.

Вспоминая, задумываюсь. На долю Лаборатории №1 выпала, как я понимаю, академическая часть проблемы (непосредственно бомбой мы не занимались). Но по степени секретности, по своей подчиненности Москве, а не Украинской академии наук, которая значилась в названии института (ФТИ АН УССР), мы прекрасно понимали, что «мы в проблеме». Пытаюсь вспомнить, задумывались ли мы о моральных аспектах, стоящих

перед теми, кто создает оружие массового уничтожения. С некоторой долей удивления вынужден признать: в то время моральные аспекты нас не волновали. Хотя отношения внутри группы близких товарищей — коллег по работе — были таковы, что мы не боялись вести откровенные беседы, но разговоров о моральной ответственности создателей атомного оружия для СССР не было (боясь ошибиться, я проверил свои воспоминания и получил подтверждение).

Почти одновременно я прочел предсмертные «Размышления о событиях и людях» Ахиезера, записанные под диктовку учениками и пересланные мне его дочерью Зоей. Они ждут своей публикации. Но зная, с какой отдачей Александр Ильич относился ко всему, что он делал, и какого напряжения душевных и физических сил должно было стоить ему создание книги, думаю, уместно закончить рецензию словами из «Размышлений»: «Институт, которому я отдал шестьдесят лет жизни, фактически развалился. Душа болит, но куда деться! Слава Богу, что есть еще несколько энтузиастов, с которыми можно что-то делать, а иначе нужно было бы наложить на себя руки». ■

Дорогие читатели!

Подписывайтесь на «Природу» в редакции журнала! Это обойдется вам намного дешевле. Цена льготной подписки (в редакции) на I полугодие 2002 года – 50 руб. за номер или 300 руб. за полугодие. Иногородные могут выслать деньги за подписку почтовым переводом до 15 октября 2001 года, добавив стоимость пересылки шести бандеролей весом 200 г.

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

Штурман Челюскин

В.В.Богданов

Москва

Род Челюскиных (во многих документах XVII в. эта фамилия значилась как Челюсткины) имеет старинное происхождение. Предки Семена Челюскина служили воеводами, были объезжими и «письменными головами», стольниками и стряпчими. Так, его дед Родион Матвеевич дослужился до «головы» (чин полковника. — В.Б.) московских стрельцов. Это значит, что он был богат, знатен, вхож в царский двор. Родион Челюскин содействовал служебному росту сына Ивана: тот был сначала стряпчим, потом стольником.

Круто изменилось колесо фортуны при Петре I. После подавления бунта московских стрельцов фамилия Челюскиных попала в список Тайной канцелярии. Оказавшись в опале, Иван Родионович был вынужден продавать и закладывать имена и земли, влезать в неоплаченные долги и обречь свою семью на скудную жизнь в глухой деревушке.

До сих пор неизвестна точная дата рождения Семена Ивановича Челюскина. На этот счет есть разные мнения. Например, историк и литературовед Н.М.Чернов (Москва) утверждает, что на основе имеющихся у него свидетельств будущий первопроходец родился приблизительно в 1704 г.

В Архиве древних актов мне удалось обнаружить документ, из которого косвенно можно установить,

что Семен Челюскин родился около 1707 г. [1]. Эту архивную находку подтверждает и исследователь Борис Рихтер, который еще в 1938 г. в биографическом очерке писал: «По возвращении в Петербург (март 1743 г. — В.Б.) 36-летний штурман в награду за свои подвиги был произведен в мичманы». К сожалению, автор не ссылаясь на архивный источник.

Не установлено и место рождения Челюскина. Одни исследователи утверждают, что он родился в Москве, другие — в с.Борищево, что в Калужской губернии, но скорее всего — в одной из родовых усадеб Белевского уезда, что на Оке. Там семья поселилась в начале XVII в. [2].

Впервые Челюскин прибыл в Москву на смотр дворянских недорослей летом 1714 г., а осенью его уже зачислили в Школу математических и навигацких наук [3]. Поначалу его определили в класс русской грамоты. Здесь выявляли тех учеников, кто «прилежность и охоту имеют к наукам». Через три года Челюскин перешел в « навигацкий класс», где изучал алгебру, геометрию, географию. Преподаватель Леонтий Магницкий обучал воспитанников и началам астрономии: умению вычислять затмения Солнца, «подлинное время новолуния и полнолуния» [4].

В 1721 г. Семен Челюскин «получил аттестации в науке и в практике», зарекомендовав себя, «как честному человеку надлежит, пробу дав

в достоинстве штурманской должности и хорошем обхождении».

В 1720-е годы Челюскин нес службу на кораблях Балтийского флота в должности «навигатора», ученика штурмана и подштурмана. Вместе с тем он практиковался и в описании прибрежных участков Финского залива. По некоторым свидетельствам, он зарекомендовал себя знающим моряком: в 1727 г. подштурман Челюскин обучал гардемарин на Балтике [5]. Тогда же он обзавелся семьей. Несмотря на то, что Семен постоянно нес нелегкую службу и находился в отрыве от дома, перспектив роста у него было мало: руководящие и доходные должности на кораблях занимали иностранцы, а в адмиралтейских кругах он не имел влиятельной поддержки.

17 апреля 1732 г. был подписан указ о снаряжении Великой Северной экспедиции под руководством В.Беринга. В конце января 1733 г. в Адмиралтейство был подан «список морских и адмиралтейских служителей, отправляющихся в Камчатскую экспедицию». Одним из первых в нем числился подштурман Семен Челюскин. Вскоре его произвели в штурманы и направили в Екатеринбург — для «немедленного приготовления к судам припасов, вещей и артиллерии». Столкнувшись с самоуправством местных должностных лиц, волокитой и бюрократизмом, будучи вынужден задержаться в городе, он, хотя и с большим трудом, но раздобыл все необходимое.

Среди офицеров флота в экспедицию отправлялся земляк и приятель Челюскина лейтенант Василий Прончищев [6]. Ему предстояло возглавить отряд по исследованию северных берегов от Лены до Енисея. Лейтенант взял в свою команду энергичного штурмана.

В конце июня 1735 г. они ушли в неведомое и опасное плавание за Полярный круг, а спустя год Челюскин похоронил чету Прончищевых в вечной мерзлоте.

«Начатое свершиться должно»

Во время второй зимовки в Усть-Оленёке Челюскин хорошо обдумал обстоятельства предыдущих неудачных плаваний. Вместе с геодезистом Никифором Чекиным и двумя солдатами он выехал в Якутск, но Беринга там не застал. Отправляясь на Камчатку, командор оставил ему пред-

писание: переслать в Адмиралтейство рапорт и оставшиеся материалы, а самому ждать дальнейших указаний из Петербурга.

23 февраля 1738 г. в Адмиралтействе «слушали доклад по полученному из Камчацкой экспедиции от штурмана Челюскина рапорту». В частности, там говорилось, что если и далее «в определенной вояж следовать, то надлежит сделать малый ялбот». Еще он убедительно просил доставить из Петербурга новые канаты и тросы, паруса и компасы, «в чем ныне недостаток есть».

Вопреки распространенному среди морских офицеров мнению о тщетности продолжения плаваний в полярных широтах Челюскин высказался определенно: «Начатое свершиться должно». Таков был девиз русских моряков.

Без малого два года провел Семен Иванович в Якутске. Исполняя обязанности командира отряда, Челюскин заботился о матросах и сол-

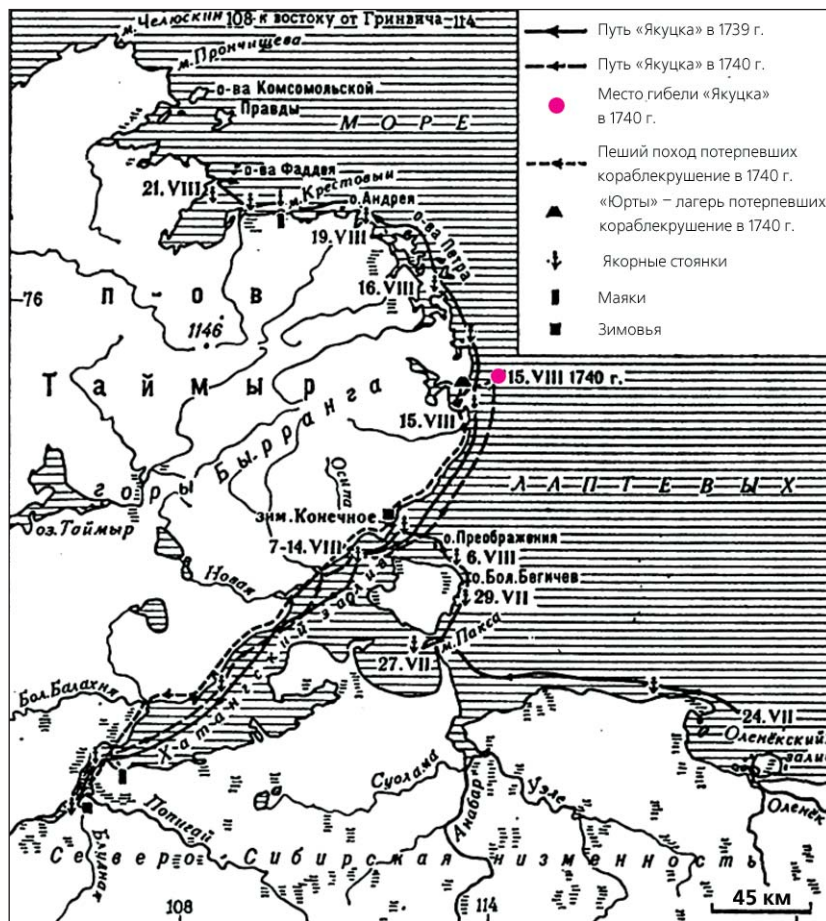
датах, входивших в экипаж корабля (их было более 40 человек). Характерно, что в предыдущем плавлении команда отнеслась к штурману настороженно — уж больно горяч и суров. Но в Якутске многие поняли: за строгостью стоят доброта и требовательность по отношению к людям. Семен Иванович хорошо понимал, что возобновив экспедицию, они отправятся в плавание тем же составом. И успех предприятия во многом будет зависеть от них самих.

Пришла весна 1740 г. Челюскин начал кропотливую подготовку к плаванью: осматривал снасти, организовывал починку парусов. 13 июля вышли в очередной поход. В последний раз штурман управлял своим кораблем. Спустя месяц дубель-шлюп затерло дрейфующими льдами вблизи бухты Прончищевой. Было решено оставить «Якуцк» — «только бы людей спасти». На лед сгрузили снаряжение и припасы. Сделали санки и пошли к берегу, преодолевая торосы. Построили две «юрты земляные». Жили там до тех пор, пока не установился зимний путь.

Недоставало провианта. Помог енисейский промышленник Василий Сазоновский, доставивший 70 пудов муки. Через месяц, пройдя около 700 верст, пострадавшие от кораблекрушения «претерпевали великую трудность и едва не все одержимы были цынготною болезнью, от которой несколько служителей померло», но достигли зимовья.

За 1741 г. партии штурмана С.Челюскина и лейтенанта Х.Лаптева описали берег между устьями рек Пясины и Нижней Таймыры. Группа геодезиста Чекина обследовала часть восточного побережья полуострова. Оставался неисследованным, как тогда называли, Северный Таймырский мыс. Конец лета и осень провели в Туруханске. Шла кропотливая подготовка к съемке северной части Таймырского побережья. Выполнить эту трудную и опасную работу, судя по обнаруженным документам, мог только Челюскин.

24 сентября 1741 г. «штурману Семену Челюскину на произведение команды ево служителям» было выдано из казны 695 руб. 40 коп. — огромная по тому времени сумма. По предложению Семёна Ивановича



Маршрут дубель-шлюпа «Якуцк». 1739 – 1740 гг.

большая часть этих средств пошла на выплату енисейским и туруханским служилым людям, которые бедствовали на севере полуострова и годами не получали ни хлебного, ни денежного жалования.

«Сей мыс каменной, приярой...»

5 декабря штурман Челюскин выехал с тремя солдатами из Туруханска к р.Хатанге. Для «похода» было собрано 40 собак и «пять нарт благонадежных к дальнему и неизвестному пути». Через девять дней туруханские казаки Федор Копылов и Деметрий Судаков отправили вниз по Енисею несколько собачьих нарт и оленьих упряжек с продовольствием. А 15 декабря по указу городничего Туруханска в помощь Челюскину выехали пять собачьих нарт и конная санная подвода.

Лаптев и Челюскин договорились так: штурман, достигнув северо-восточной части полуострова, повернет на запад, описывая побережье; лейтенант следует из Туруханска до устья Нижней Таймыры и далее на восток, ему навстречу.

Стояли суровые морозы — до -50°C , в стылом воздухе далеко разносился скрип полозьев. Совершали переходы по 30—40 верст в день. Челюскина сопровождали подвзочки на оленьих упряжках, через десять дней пути «олени пристали, некоторые на дороге остались». Ориентируясь по звездам и компасу, пересекали Таймыр с юго-запада на северо-восток. 15 февраля 1742 г. по рекам Хете и Хатанге прибыли в обжитое Попигайское зимовье.

Изучая документы этого последнего похода, восхищаешься организаторскими способностями Челюскина, творческим отношением к делу. Пока енисейские служилые Дорофеев и Кылтасов подвозили провиант и корм для собак, штурман тщательно продумал все детали успешного продвижения на север.

В конце марта группа солдата Антона Фофанова повезла к морю провиант на трех нартах. Сам Челюскин отправился на север. Следом двинулись подвзочки-тавгийцы (так до начала XX в. называли нгана-

сан) на 11 нартах, груженных кормом для собак. Еще одну группу — якута Никифора Фомина с девятью нартами и грузом собачьего корма он отправил в устье Нижней Таймыры, чтобы оттуда двинуться западным берегом на встречу с ним.

Челюскин отослал назад сопровождавших его каюров и на трех собачьих упряжках отправился вдоль побережья на северо-запад. На высоком берегу, у мыса св.Фаддея, штурман соорудил маяк. Дальше на север еще никто не проникал.

Челюскин продолжал вести наблюдения с особой тщательностью. Его путевой журнал, единственная копия которого хранится в Госархиве Военно-Морского Флота в Санкт-Петербурге, — замечательный документ, свидетельствующий о необычайном упорстве и выносливости штурмана. Лаконичны его указания на неблагоприятные погодные условия. Часты упоминания о крайнем изнурении собак, которым было гораздо тяжелее, чем людям. Ни слова о собственной усталости или проявлении страха, в записях не было места личным чувствам и переживаниям.

День за днем Челюскин вел съемку побережья. Выбирали подходящее место, доставали инструменты. Установив бревно, брали пеленги, измеряли расстояния специальными цепями. Переезжая на новое место, все начинали заново.

6 мая, при «погоде чистой и сиянии солнечном», штурман вычислил географическую широту места — $77^{\circ}27'$. День был удачным: заметив медвежьи следы, 18 верст гнали собак и настigli четырех белых медведей. Метким выстрелом уложили одного, пополнив запасы провианта. На следующий день стало сумрачно, началась «поземная метель великая, что ничего не видно». Палатка из оленьих шкур была плохой защитой. Даже под меховыми одеялами стужа становилась невыносимой.

Прошли сутки, пурга поутихла. Тронулись в путь, и через пять верст достигли мыса. Челюскин записал в путевом журнале обычные, но навсегда вошедшие в историю географических открытий слова: «Погода пасмурная, снег и туман. В пятом часу пополудни поехал в путь свой <...>. Приехали к мысу. Сей мыс ка-

менной, приярой, высоты средней, около оною льды глаткие и торосов нет. Здесь именован мною оный мыс: Восточный Северный. Поставил маяк — одно бревно, которое вез с собою» [7].

Мыс не произвел на штурмана впечатления: он отметил, что берег здесь очень низкий и песчаный, с «небольшим выгибом». Отсюда Челюскин повернул на юго-запад. Лишь в 1919 г., спустя 177 лет после открытия, норвежский геофизик и океанограф Харальд Свердруп, научный руководитель экспедиции Р.Амундсена на шхуне «Мод», установил, что именно этот невзрачный мыс и есть северная оконечность Евразии [8].

Только один час провел Челюскин в районе крайней северной точки материка. Небо было закрыто серыми низкими тучами. Изредка появлялось тусклое холодное солнце. Штурман указал в журнале, что, по его мнению, Северо-Восточный мыс окончился, и земля лежит от запада к югу. По западному берегу полуострова он направился на юго-запад, к устью Нижней Таймыры.

Лаптев еще в феврале 1742 г. ушел к устью Нижней Таймыры, чтобы оттуда следовать навстречу Челюскину. Но лейтенанту снова не хватило провизии. В начале мая Лаптев послал навстречу штурману солдата Тобольского гарнизона Константина Хорошева с грузом провианта, а сам вернулся обратно в Туруханск.

15 мая Челюскин съехал с Хорошевым, и они устремились на юг через тундру. В зимовье якута Никифора Фомина партию Челюскина ждал другой посланец Лаптева. 20 июля 1742 г. Семен Иванович Челюскин сделал последнюю запись: «Погода пасмурная, великий дождь. Сего числа пополудни в третьем часу прибыл я в город Мангазейск и явился в команду лейтенанта Харитона Лаптева» [9]. Северный вояж, обессмертивший имя штурмана Челюскина, закончился.

По праву первооткрытия

Во время Великой Северной, или Второй Камчатской, экспедиции было сделано два основных откры-

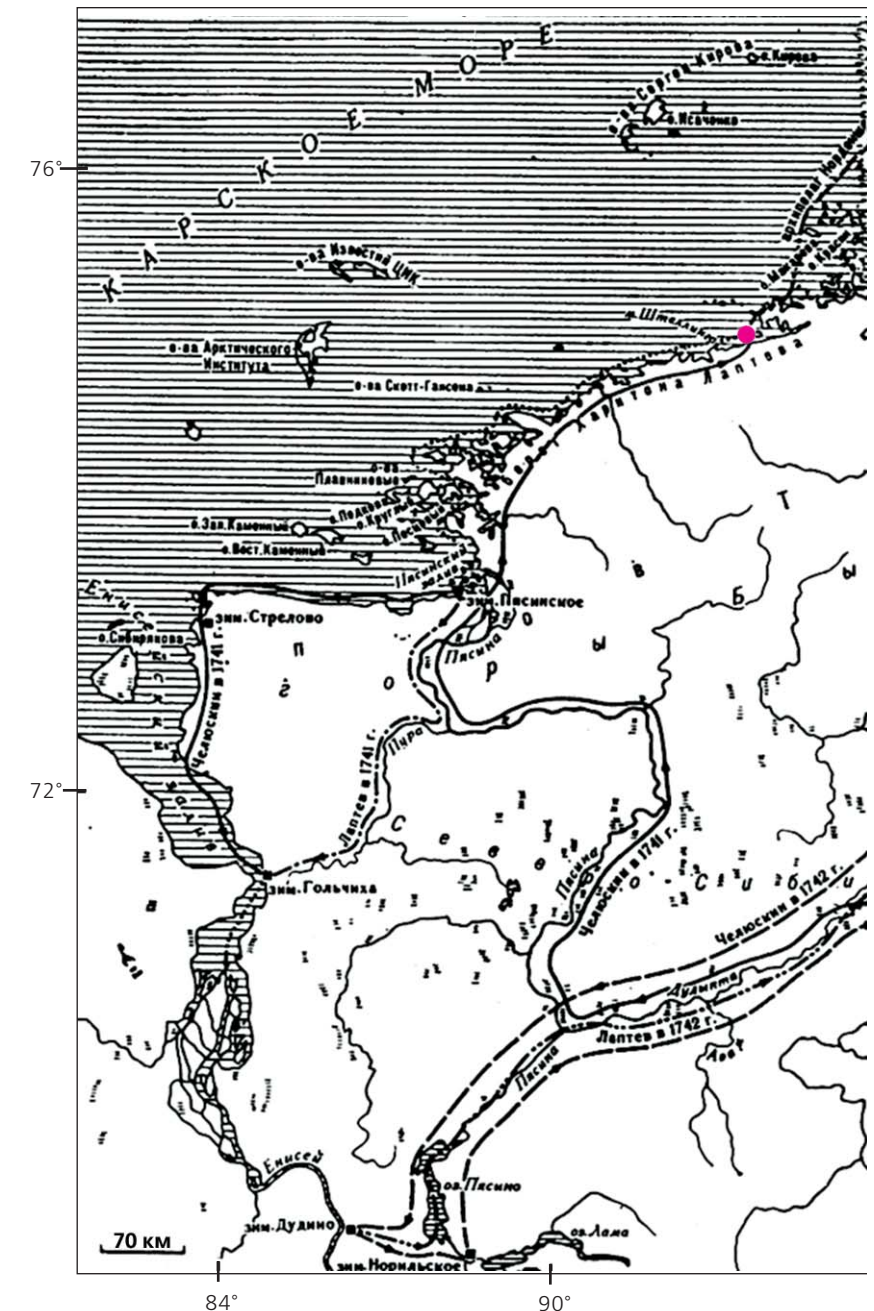
тия: Россия достигла Северной Америки (Аляски) и северной точки Евразии. И, как ни странно, первопроходец Челюскин не придал своему открытию никакого значения!

«Сколь же мне ведомо, — писал Ломоносов о работе Ленско-Енисейского отряда, — с востока от устья р. Лены поручик Харитон Лаптев мог дойти до 77 градусов, а всего мысу водяным ходом не окружили, однако по краям стоячего льду прошел при оном мысу мичман Челюсткин и везде видел стоячий лед, окружен торосом» [10].

Эти слова М.В. Ломоносова из его труда «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию» лишь подтверждают роль Челюскина как первопроходца на Таймыре. Но «отправленные потом флота офицеры Чукотского носу не достигли». Ломоносов и Челюскин полагали, что северная оконечность Евразийского материка — так называемый Табинский нос — находится где-то на Чукотке. К рукописи Михаил Васильевич приложил полярную карту, составленную им около 1763 г. На ней указан мыс, описанный Челюскиным, а на северо-востоке континента пунктирной линией обозначен уходящий к полюсу неисследованный «Чукотский нос». Следовательно, и Челюскин, и Ломоносов не могли с уверенностью сказать, где находится северная оконечность «матерой земли».

Итак, Челюскин сделал открытие, которое опередило географическую науку и время. Такова была его судьба: остаться в неизвестности при жизни и навечно запечатлеться в памяти людей после смерти.

Столетие спустя, впервые после первопроходцев, по Таймыру путешествовал будущий российский академик А.Ф. Миддендорф. По его предложению северную оконечность Евразии стали именовать мысом Челюскина (с 1878 г. это название внесено в международную литературу и карты). «Как бы то ни было, — писал исследователь, — но если северо-восточный мыс получит имя Челюскина, то он сохранит это имя с честью. Челюскин не только единственное лицо, которому сто



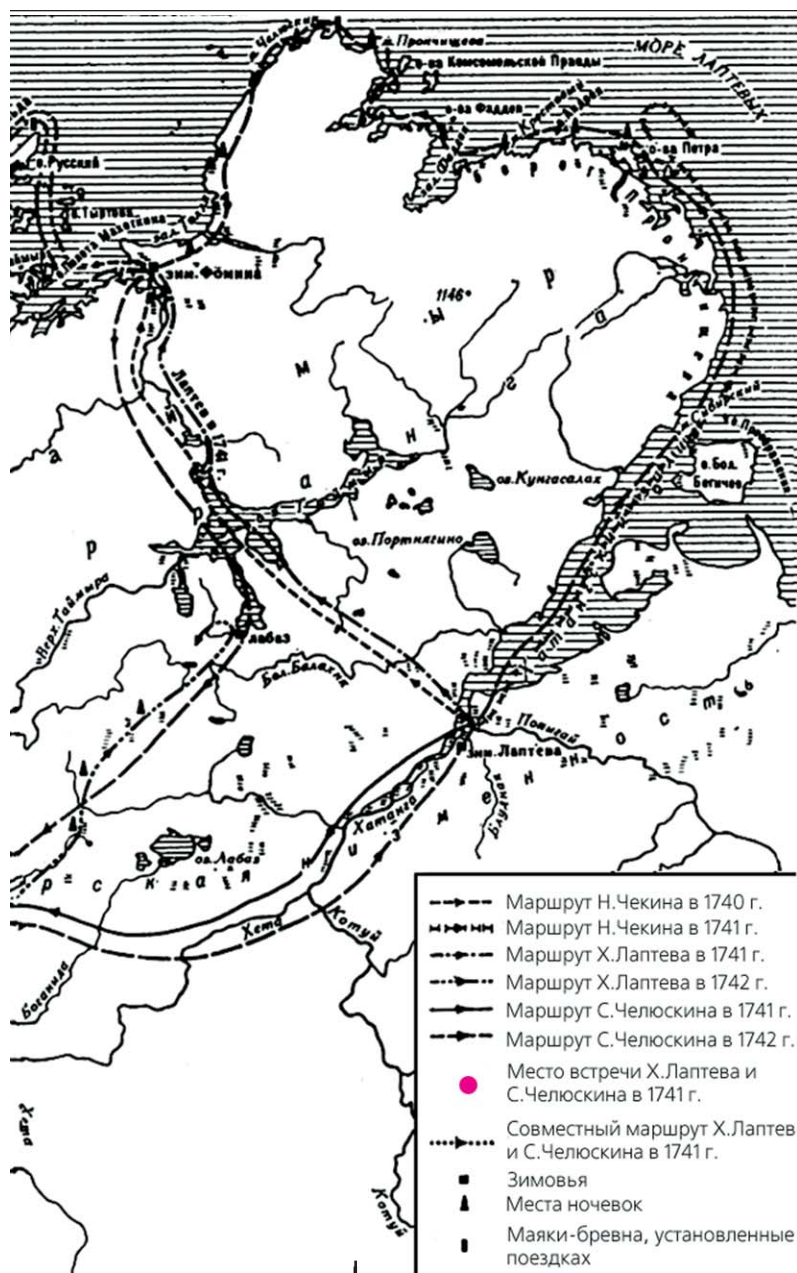
Санный маршрут отряда Х.Лаптева на Таймыре.

лет назад удалось достигнуть этого мыса и обогнуть его, но ему удался этот подвиг, не удавшийся другим, именно потому, что его личность была выше других. Челюскин, бесспорно, венец наших моряков, действовавших в том крае» [11].

Исследователи Таймыра произвели подробную съемку и нанесли на карту все побережье и внутреннюю часть полуострова. Причем в отдельных местах измеряли даже скло-

ния магнитной стрелки. Участники отряда отмечали полезные ископаемые в открытых горных отложениях. Проводили наблюдения за режимом рек, морскими течениями у берегов.

27 августа 1743 г. Лаптев представил в Адмиралтейство рапорт, журналы и «сочиненные морские карты». Вскоре он приступил к обработке материалов и составлению генеральной «Морской карты описания берега Северного Ледовитого моря меж реками Лены и Енисея».



102°

Огромный северный полуостров перестал быть таинственной землей.

В сентябре 1743 г. была подготовлена рукопись «Описание, содержащееся от флота лейтенанта Харитона Лаптева в Камчатской экспедиции меж реками Лены и Енисея, в каком состоянии лежат реки и на них всех живущих промышленников состояние». В литературе авторство этой работы причисляется только Х.Лаптеву. Но это далеко не так. Известно, что в ее основу легло «Опи-

сание берегов морских, рек и заливов Северного моря, начавшихся с реки Лены», составленное в 1742 г. штурманом Семеном Челюскиным. Лаптев лишь обобщил те разнообразные сведения, которые собрали лейтенант Прончищев, штурман Челюскин, геодезист Чекин и другие участники экспедиции.

Это была работа, содержащая первые научные сведения о большой Таймырской земле. В рукописи приводится характеристика рек, бе-

регов, островов, данные о глубинах, приливах и отливах, о состоянии льда и грунта, другие гидрографические сведения. В работе довольно полно описаны Лена и Оленёк, Анабара и Хатанга, Нижняя Таймыра и Пясины, Балахна и Енисей, тундра около оз.Таймыр; есть указания о границах произрастания лесов и их составе, о хлебопашестве, рыбных и пушных промыслах.

Интересны размышления «о мамонтовых рогах». Их во множестве находили участники сухопутных поездок в тундре и на побережье. Причем и Челюскин, и Лаптев ошибочно думали, что мамонты — это морские животные, которые «есть <...> и ныне в море Северном, на глубоких местах». Любопытно то, что первопроходцы находили даже вымытых по речным берегам и сохранившихся в вечной мерзлоте «целых зверей мамонтов с обоими рогами; на них кожа толщиной в пять дюймов, а шерсть и тело истлелые». Несомненно, обнаруженные ими экземпляры представляли большой научный интерес. Однако мы не знаем, привез ли в столицу руководитель отряда хотя бы некоторые фрагменты (например, бивни) давно исчезнувших животных.

В «Описании...» уделяется место быту, нравам, суевериям народностей, населяющих полуостров, что представляет большой интерес для этнографов.

По возвращении в Петербург царский двор и Адмиралтейство не удостоили Челюскина «вознаграждением». Ему пожаловали чин мичмана (первый офицерский чин на флоте) — только такой ли награды он был достоин? И потянулась морская служба на Балтике со скучным продвижением в чинах. Судьба не баловала Челюскина, как, впрочем, и многих других участников Великой Северной экспедиции. Не вспоминали о нем и бывшие соратники. Харитон Лаптев участвовал в составлении «генеральной карты Сибирским и Камчатским берегам», командовал кораблями, под конец жизни был назначен главным интендантом по снабжению Балтийского флота.

В указе Адмиралтейств-коллегии от 18 декабря 1756 г. сказано «об от-

ставке морского флота лейтенанта Семена Челюскина с награждением морского капитана 3-го ранга». Уволенный с флота «за болезнью и старостью», с «паспортом об отставке от всех дел», Семен Иванович поселился с женой в небольшом имении в Алексинском уезде. Скоро он втянулся в нужды и заботы дворянина средней руки: беспокоился о приобретении новых поместий, судился с соседями, собирал подати с крестьян.

С отставкой первопроходца в полном неведении для будущих поколений закончилась его подвижническая жизнь. До сих пор была неизвестна дата его смерти.

В результате кропотливых поисков в фондах Поместного приказа

Госархива древних актов мною найдена челобитная жены Челюскина, датированная мартом 1765 г. и обращенная к «Всепресветлейшей державнейшей великой государыне императрице Екатерине Алексеевне». Далее читаем: «...бьет челом вдова Аграфена Павлова дочь капитана-лейтенанта Семенова жена Иванова сына Челюскина да отставной капитан Петр Семенов сын Челюскин. В прошлом, 1764 г., в ноябре месяце, моего Аграфенинова мужа, а того Петрова отца вышереченного Семёна Ивановича Челюскина волею Божией не стало».

Итак, первооткрыватель северной точки Старого Света Семен Иванович Челюскин умер в ноябре 1764 г.

Не установлено и место его погребения. Выскажу некоторые предположения. В челобитной вдова Челюскина сообщала, что после смерти мужа за ним остались недвижимые имения в следующих уездах: Лихвинском (ныне Чекалинский р-н Тульской обл.), Алексинском (Тульская обл.), Перемышльском (Калужская обл.) и Белевском. Несколько лет назад я побывал в деревнях и селах, которыми когда-то владел Челюскин. Пришел к выводу: наибольшая вероятность захоронения — с.Босарево, что на Оке, неподалеку от Алексины. Окончательно разрешить эту загадку, видимо, по силам тульским и калужским краеведам. ■

Литература

1. Российский государственный архив древних актов (РГАДА). Ф.286. Оп.1. Д.230. Л.1, 23—23 об.
2. РГАДА. Ф.1209. Оп.1. Д.3322. Л.566.
3. . Навигацкая школа в Сухаревой башне // Природа. 1998. №9. С.126.
4. Еремеева А.И. «Арифметика» Л.Ф.Магницкого // Природа. 1998. №11. С.124.
5. Голубев Г.Н. Колумбы Росские. М., 1989. С.376.
6. Богданов В.В. Первая русская полярница // Природа. 2001. №1. С.92—96.
7. Глушанков И.В. Навстречу неизведанному. Л., 1980. С.111.
8. Магидович И.П., Магидович В.И. Очерки по истории географических открытий. М., 1984. С.122.
9. Белов М.И. По следам полярных экспедиций. Л., 1977. С.17—18.
10. Ломоносов М.В. Собрание сочинений. М.; Л., 1952. Т.6. С.450.
11. Миддендорф А.Ф. Путешествие на север и восток Сибири. СПб., 1860—69. Ч.1. С.78.

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, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 29.08.2001
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 2395

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